

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA EL CRECIMIENTO DE
PELÍCULAS DELGADAS POR EL MÉTODO DE RECUBRIMIENTO POR
INMERSIÓN O *DIP COATING***

JEYVER ANDRÉ MORALES TABORDA

jmoral26@eafit.edu.co

INGENIERÍA FÍSICA

DEPARTAMENTO CIENCIAS BÁSICAS

UNIVERSIDAD EAFIT

MEDELLÍN, COLOMBIA

2012

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA EL CRECIMIENTO DE
PELÍCULAS DELGADAS POR EL MÉTODO DE RECUBRIMIENTO POR
INMERSIÓN O *DIP COATING***

**Trabajo de grado elaborado con el fin de optar por el título de
Ingeniero Físico**

Asesor del proyecto: ÁLVARO ANDRÉS VELÁSQUEZ TORRES

DOCTOR EN FÍSICA

PROFESOR DE TIEMPO COMPLETO

DPTO. CIENCIAS BÁSICAS

UNIVERSIDAD EAFIT

Co-asesor del proyecto: JEANETH PATRICIA URQUIJO MORALES

CANDIDATA A DOCTORA EN CIENCIAS QUÍMICAS

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

INGENIERÍA FÍSICA

DEPARTAMENTO CIENCIAS BÁSICAS

UNIVERSIDAD EAFIT

MEDELLÍN, COLOMBIA

2012

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Medellín (26/11/2012)

DEDICATORIA

Fiel al estilo que caracteriza mi persona, de pocas palabras pero de gran corazón, quiero dedicar este trabajo al esfuerzo, apoyo, dedicación y solidaridad que recibí de parte de mi padre y mi madre durante el tiempo que comprendió mi formación.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Álvaro Andrés Velásquez Torres y a la profesora Jeaneth Patricia Urquijo Morales, asesor y co-asesora del proyecto y parte fundamental de éste desde su concepción.

Al Dr. Juan Manuel Jaramillo Ocampo por el acompañamiento y seguimiento en el desarrollo del proyecto.

A Edward Villegas, ingeniero físico quien posibilitó el desarrollo de algunas fases de este proyecto.

A Hugo Murillo, Jair Mira y Luis Cuellar, personal del Laboratorio de física y electrónica de la Universidad EAFIT quienes asesoraron la implementación electrónica del dispositivo.

A Jaime Bayona Quintero gerente general de Carrocerías REPARBUS que apoyó el proyecto con provisión de materia prima, instalaciones, herramientas y recursos humanos y técnicos que permitieron la ejecución del mismo.

A Edwin Restrepo por la disposición y acompañamiento -en ocasiones ejecución- de los procesos relacionados con el tratamiento de materiales metálicos para satisfacer la planimetría desarrollada.

A Omar Guerrero, jefe del departamento de producción de carrocerías REPARBUS por su disposición y asesoría que fueron de gran ayuda para la consecución de los objetivos del proyecto.

Al personal operativo de carrocerías REPARBUS que estuvo involucrado en el proceso mediante asesorías, consideraciones, provisión de materia y recursos humanos.

CONTENIDO

CONTENIDO	6
LISTADO DE TABLAS	8
LISTADO DE FIGURAS	9
GLOSARIO	11
RESUMEN	12
1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Planteamiento del problema.....	13
1.2. Objetivos	14
1.2.1. Objetivo general.....	14
1.2.2. Objetivos específicos.....	14
1.3. Justificación	15
2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Recubrimientos.....	17
2.2. Técnicas de depositación	18
2.3. Métodos de síntesis	19
2.4. Método de depositación	23
2.5. Consideraciones del reactor	30
3. METODOLOGÍA Y DESARROLLO	33
3.1. Etapa 1. Revisión bibliográfica y comercial.....	33
3.2. Etapa 2. Diseño conceptual y funcional.	39
3.2.1. Diagrama de flujo.....	42
3.2.2. Análisis funcional.	45
3.2.3. Componentes.....	47
3.2.3.1. Mecanismo central.....	48
3.2.3.2. Motor.....	59
3.2.3.3. Sensores.....	71
3.2.3.4. Tapas seccionadoras.....	73

3.2.3.5.	Base estructural	74
3.2.3.6.	Tapas laterales	74
3.2.3.7.	Display, teclado, LEDS y alarma	75
3.2.3.8.	Contenedor	75
3.3.	Etapa 3. Construcción, sub-ensamblaje y ensamblaje.....	76
3.3.1.1.	Mecanismo central.....	76
3.3.1.2.	Electrónica General	80
3.3.1.2.1.	Motor.....	81
3.3.1.2.2.	Microcontrolador, sensores, display, teclado, LEDS y alarma	81
3.3.1.3.	Producto final.....	85
3.4.	Etapa 4. Documentación del dispositivo.....	87
4.	CONCLUSIONES	88
5.	REFERENCIAS.....	90
6.	ANEXOS.....	95
I.	Manual de uso Dip Coater 136.....	95
II.	Ficha técnica de especificaciones Dip Coater 136	111
III.	Código PIC	113
IV.	Relación de documentos.....	120
V.	Planimetría y codificación.....	120

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Rango de parámetros deseables de operación del reactor.....	39
Tabla 2. TRC y especificaciones requeridas.	41
Tabla 3. Funcionalidad de componentes.	45
Tabla 4. Valores obtenidos experimentalmente para el motor sin carga.	64
Tabla 5. Valores obtenidos experimentalmente para el motor con una carga de 1 kg.	68
Tabla 6. Definición de puertos en el microcontrolador PIC 16F886	82

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Técnicas de deposición de películas delgadas.	18
Figura 2. Descripción de las características lineales del proceso de gelificación en condiciones ácidas. [12]	21
Figura 3. Descripción de las características ramificadas del proceso de gelificación en condiciones básicas. [12].	22
Figura 4. Proceso de inmersión.	24
Figura 5. Proceso de extracción del sustrato y evaporación de los solventes.	24
Figura 6. Punto S de estancamiento y división de la capa desplazada de material.	25
Figura 7. Detalle de la línea de secado.	26
Figura 8. Espesor de la película húmeda $h(x)$	26
Figura 9. Aspecto del reactor comercial modelo RDC-15.	34
Figura 10. Estructura del RDC 21-K.	35
Figura 11. Tablero del RDC 21-K.	36
Figura 12. Dip Coater RDC 30 Multidip, unidad con carrusel multi-solución.	38
Figura 13. Logotipo seleccionado para el dispositivo.	40
Figura 14. Diagrama de flujos principales y secundarios del reactor Dip Coater.	43
Figura 15. Descripción general del dispositivo.	48
Figura 16. Mecanismo central.	50
Figura 17. Simplificación de dimensiones del mecanismo central.	51
Figura 18. Descripción de parámetros de tornillos de potencia.	53
Figura 19. Paso de rosca y profundidad de rosca del husillo.	54
Figura 20. Descomposición de fuerzas en la rosca para subir la carga.	54
Figura 21. Descomposición de fuerzas cuando se baja la carga.	56
Figura 22. Arreglo de sensado para la caracterización del motor.	61
Figura 23. Relación de Velocidad angular Vs Voltaje de alimentación.	64
Figura 24. Relación de Corriente Vs Voltaje de alimentación.	65
Figura 25. Ubicación de las cargas sobre el motor.	66
Figura 26. Relación de Velocidad angular Vs Voltaje de alimentación en condiciones de carga máxima.	69
Figura 27. Relación de Corriente Vs Voltaje de alimentación en condiciones de carga máxima.	69
Figura 28. Tapas seccionadoras Inferior y Superior.	73
Figura 29 Base construida con perfiles estructurales cuadrados Cold Rolled. Base con adición de elementos estructurales fabricados en lámina de acero. Descripción de la ubicación de los pines roscados.	74
Figura 30. Tapas traslúcidas lateral izquierda y derecha.	75

Figura 31. Contenedor rectangular.....	76
Figura 32. Mecanismo central fabricado en nylon autolubricado.....	77
Figura 33. Sujetador 1 que consta de un buje roscado unido a un perfil rectangular.....	78
Figura 34. Sujetador 2. Perfil rectangular soldado a un buje del eje guía.	78
Figura 35. Descripción del montaje por piezas del mecanismo central.	79
Figura 36. Despiece del mecanismo de sujetadores.	79
Figura 37. Diagrama general electrónico del reactor.	80
Figura 38. Motor dentro de la carcasa de fijación.	81
Figura 39. Diagrama de bloques de la rutina incorporada en el microcontrolador.....	83
Figura 40. Display LCD y teclado 4x4 instalados en el dispositivo.....	85
Figura 41. Aspecto del Dip Coater 136.	86
Figura 42. Ganchos sujetadores de sustratos.	87

GLOSARIO

Recubrimiento (depositación, deposición): técnica de obtención de películas delgadas que consiste en aplicar una capa muy fina de material sobre la superficie de un sustrato aprovechando las propiedades adhesivas del material.

Reactor de recubrimiento por inmersión (Dip Coater): instrumento que permite realizar la depositación de películas delgadas en fase líquida (coloide) mediante el sumergimiento de un sustrato en el sol.

Laboratorio de Instrumentación y Espectroscopía de la Universidad EAFIT: laboratorio que hace parte del departamento de Ciencias Básicas de la Universidad EAFIT en el cual entre otros proyectos, se desarrollan investigaciones en espectroscopía Mössbauer.

Recubrimiento por inmersión (Dip Coating): procedimiento que consiste en la inmersión de un sustrato en una solución para aplicar capas muy delgadas de material.

Sol (suspensión coloidal): dispersión de partículas sólidas en un medio líquido, ya sea acuoso u orgánico.

Sol-gel: método de síntesis de soluciones coloidales que se aprovechan en el procedimiento de recubrimiento por inmersión.

Sustrato: material sobre el cual se hace el recubrimiento.

Velocidad de extracción: característica del proceso de recubrimiento por inmersión teniendo suma relevancia en éste ya que los espesores finales de las películas depositadas guardan una relación muy estricta con esta velocidad.

RESUMEN

El presente trabajo muestra el proceso de diseño y construcción de un dispositivo destinado a la depositación de películas delgadas sobre sustratos, inicialmente de vidrio. Este proceso comprende la realización de una revisión bibliográfica respecto a las características y condiciones que rodean el procedimiento de depositación por el método de *recubrimiento por inmersión (dip coating)*. Producto de dicha revisión, se extraen y discuten algunos aspectos teórico-prácticos que se han identificado en la literatura como variables críticas en la determinación de los parámetros y rangos de operación del reactor de recubrimiento por inmersión que se requiere construir. El método de síntesis de la película que se exploró fue el sol-gel. Se presentan las características técnicas y las consideraciones de uso del dispositivo.

Términos clave: Depositación, Recubrimiento por inmersión, Dip Coater, Sol-gel, Película delgada.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Una *película delgada* hace referencia a una porción de material que posee -en magnitud- una de sus dimensiones (espesor) muy pequeña respecto a las otras dos [1] Las películas delgadas a base de óxidos de hierro constituyen una enorme fuente de investigación debido a que se tienen reportes en la literatura científica de que pueden exhibir comportamientos de alto interés académico como las propiedades superparamagnéticas [2], estos fenómenos pueden ser mejor asimilados por los estudiantes en formación en física, si existe algún método de acercamiento que permita evidenciarlos de manera experimental. Es por esto que en el Laboratorio de Instrumentación y Espectroscopía de la Universidad EAFIT se ha venido trabajando en la investigación y aplicación de metodologías de bajo costo que propicien y estimulen el interés del estudiante. Existen gran cantidad de métodos para sintetizar y depositar recubrimientos en forma de películas delgadas, algunos de ellos muy costosos debido al nivel de sofisticación de los espacios e instrumentación que requieren, no obstante, existe una combinación de métodos y técnicas que resulta bastante atractiva por su simplicidad de operación y su costo relativamente bajo. Esta combinación se refiere a la obtención de las películas delgadas por medio de la aplicación del método de síntesis denominado sol-gel y la realización de la depositación de las mismas haciendo uso de la técnica denominada “recubrimiento por inmersión” o *dip coating* a partir de una suspensión coloidal (sol). Estos dos procedimientos son muy eficaces para su cometido y son ampliamente utilizados en todo tipo de industrias entre las que destacan la industria de filtros ópticos, la industria automotriz, aeronáutica, bélica, médica, de procesamiento de plásticos, entre otras [3] [4] [5]. Aprovechando la acción de los efectos viscosos y de tensión

superficial se forma una delgada capa sobre la superficie de un sustrato después de la inmersión de éste en la mezcla de reacción. Esta capa experimenta procesos de evaporación, condensación y polimerización solidificándose y formando a su vez películas de espesores entre 10 nm y 50 μ m. Los parámetros críticos de operación para este procedimiento radican en la selección de los precursores químicos necesarios para formar el sol y la adecuada asignación de los parámetros físicos del reactor entre ellos la velocidad de extracción del sustrato., el tiempo de inmersión del sustrato en la solución y el tiempo de secado. Se requiere entonces de la construcción de un dispositivo que permita controlar las variables consideradas como críticas en el proceso de inmersión del sustrato y de extracción del mismo.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar y construir un dispositivo para el crecimiento de películas delgadas por el método de recubrimiento por inmersión, para uso en el Laboratorio de Instrumentación y Espectroscopia de la Universidad EAFIT.

1.2.2. Objetivos específicos

1.2.2.1. Identificar las variables críticas en el proceso de recubrimiento por inmersión, sus rangos de operación y la forma como estas variables pueden ser controladas en el dispositivo.

1.2.2.2. Desarrollar un reactor de recubrimiento por inmersión con base en las soluciones descritas, que permita controlar y satisfacer cada uno de los parámetros de operación identificados como críticos haciendo una selección estratégica de herramientas de hardware y software.

1.2.2.3. Identificar en el funcionamiento del dispositivo posibles desperfectos que obstruyan el correcto accionar del reactor y formular posibles soluciones.

1.2.2.4. Documentar el dispositivo con un manual de operación y una tabla de especificaciones técnicas que permitan al usuario operarlo fácilmente y realizar labores de mantenimiento preventivo y correctivo de manera eficiente, además, referenciar de manera adecuada el dispositivo para garantizar la repetitividad de fabricación del mismo.

1.3. Justificación

Existe un creciente interés hacia la nanotecnología y los tratamientos superficiales [1] por tal motivo para un laboratorio de formación investigativa en física resulta atractiva la posibilidad de crecer películas delgadas que puedan tener aplicaciones como dispositivos de sensado de campo magnético, temperatura o radiación electromagnética. Las películas delgadas tienen interés académico debido a que pueden exhibir propiedades magnetorresistivas, en las cuales la resistencia eléctrica de la película depende no sólo de las propiedades estructurales sino de las propiedades magnéticas, entre ellas, el acople del espín de los electrones y el momento magnético local del ambiente cristalino atravesado por estos electrones [2]. Un reactor para realizar la depositación de películas delgadas sobre sustratos seleccionados se convierte entonces en una herramienta de gran utilidad para el Laboratorio de Instrumentación y Espectroscopía de la Universidad EAFIT, sin embargo, dadas las limitantes económicas para adquirir equipos muy sofisticados, es conveniente apostar por una alternativa como la combinación del método de síntesis sol-gel con la técnica de recubrimiento por inmersión [6] que resulta económica, efectiva, pero sobre

todo, enriquecedora como medio de formación para quien desarrolle este proyecto.

Para la ejecución de este proyecto es necesario realizar una revisión bibliográfica de los conceptos teóricos que rigen el fenómeno físico que posibilita la obtención de las películas, deben además explorarse en el marco de la ingeniería las alternativas de control para los parámetros considerados como críticos dentro del procedimiento, asimismo, debe realizarse una exploración comercial para determinar los componentes que se pueden emplear en la construcción de un reactor de recubrimiento por inmersión. Esta tecnología de bajo costo pero de gran utilidad y apogeo representa un reto apropiado para un ingeniero físico por sus implicaciones instrumentales, de control, de diseño y de implementación y de conocimientos propios de la ingeniería de materiales. El uso del dispositivo además enriquecerá los recursos de infraestructura del Laboratorio de Instrumentación y Espectroscopía de la Universidad EAFIT, apoyando de esta manera el crecimiento de las actividades de investigación y docencia relacionadas con el tema de los nuevos materiales

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Recubrimientos

La necesidad de mejorar las propiedades de los materiales para optimizar sus condiciones de trabajo ha conllevado al desarrollo de la técnica de la aplicación de recubrimientos [7]. El material que se recubre se denomina *sustrato* y es cuyas propiedades se busca mejorar; se pueden identificar seis tipos de propiedades:

 Ópticas

 Eléctricas

 Magnéticas

 Químicas

 Mecánicas

 Térmicas

 Aspecto

Los recubrimientos se clasifican en tres tipos:

 Poliméricos

 Metálicos

 Cerámicos y vítreos

Para el desarrollo de este proyecto son de especial interés los recubrimientos cerámicos y vítreos que comprenden una amplia variedad de materiales, desde los óxidos hasta los no óxidos como carburos, nitruros y boruros [8]

2.2. Técnicas de deposición

Se clasifican según la fase en la cual se encuentra el medio del cual se parte para hacer la deposición, realizándose en ambientes gaseosos o en fase líquida. La Figura 1 ilustra esta clasificación [9]

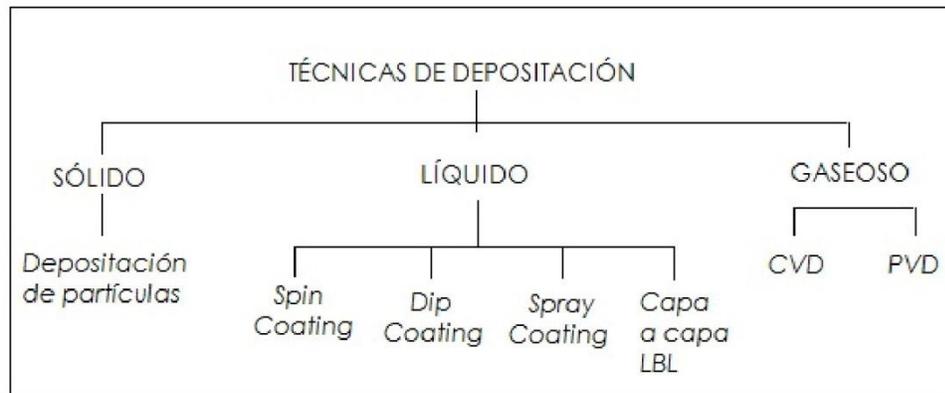


Figura 1. Técnicas de deposición de películas delgadas.

Independientemente de cuál sea la técnica seleccionada para fabricar y/o depositar las películas el proceso de generación de películas delgadas contiene cuatro pasos básicos y secuenciales. En casos especiales puede contener un quinto. Los cuatro pasos secuenciales son [7]:

1. Se provee una fuente de material del cual se extraerá el compuesto o elemento que recubrirá al sustrato.
2. El material proveniente de la fuente es llevado y puesto en contacto con la superficie del sustrato.
3. Se realiza el proceso de deposición el cual puede comprender etapas internas debido a interacciones físico químicas de la interfaz sustrato-material cobertor.

4. De acuerdo con cada técnica, la película puede requerir una etapa de recocido y/o tratamiento térmico para compactar la película, eliminar contaminantes y dar consistencia mecánica.
5. Se analiza y evalúa el proceso, esta etapa comprende la caracterización de la película en función de sus propiedades físicas y químicas.

En este trabajo sólo se contemplan las tres primeras etapas, sin desconocer la importancia de la calidad y reproducibilidad del proceso, la fase de caracterización y análisis de las películas no es tenida en cuenta debido a los alcances del proyecto comprenden únicamente el diseño y fabricación del dispositivo de recubrimiento por inmersión.

2.3. Métodos de síntesis

Los materiales precursores para fabricar la película pueden estar en estado sólido, líquido o gaseoso. En el procedimiento de recubrimiento por inmersión estos precursores deben estar en fase líquida. Este método de depositación química en solución (CSD – Chemical Solution Deposition-) se utiliza para la producción de películas delgadas de tipo amorfo y cristalino haciendo uso de las propiedades adhesivas que presentan los soles.

Los soles o suspensiones coloidales son dispersiones de partículas sólidas en un medio líquido, ya sea acuoso u orgánico [10]. Estas partículas tienen un rango de tamaño que va desde 1 a 1000 nm y al ser tan pequeñas las fuerzas gravitacionales son despreciables y las interacciones más intensas entre las partículas corresponden a fuerzas tipo van de Waals. La fase dispersa exhibe un comportamiento Browniano debido a su baja inercia, esto genera en las moléculas del medio, movimientos en trayectorias aleatorias producto de la impartición de momento lineal por medio de colisiones que llevan a las partículas a interactuar

con el sustrato formándose así una película sobre la superficie del sustrato que está dentro de la suspensión coloidal.

El método de sol-gel presenta las siguientes ventajas:

- Alta pureza en los compuestos obtenidos
- Diversidad de compuestos químicos
- Homogeneidad estructural en las películas obtenidas
- Estabilidad química y térmica
- Bajas temperaturas de densificación (oscilan alrededor de 100 °C)

Existen dos métodos para desarrollar el proceso de sol-gel, el primero consiste en sintetizar un sol a partir de soluciones preexistentes con características coloidales adicionando iones alcalinos a un medio líquido con partículas coloidales con lo cual se inicia el proceso de densificación de la solución, de esta manera se genera una sustancia de tipo gel, este proceso es conocido como *gelificación*. El segundo método es más utilizado en la industria electrónica y corresponde al proceso de síntesis utilizando alcóxidos.

Los alcóxidos metálicos tienen la fórmula $M(OR)_n$, con un M ión metálico y R un grupo alquilo. Cuando están en presencia de moléculas de agua, los alcóxidos metálicos hidrolizan y posteriormente se da la condensación de los productos de hidrólisis, para formar enlaces $M - O - M$, proceso que involucra la deshidratación o la desalcoholización de los hidrolizados (esto es lo que se denomina condensación). Esto lleva a la formación de redes de óxidos metálicos poliméricos (formación del sol). Al perderse moléculas de solvente se da la formación de geles poliméricos. El proceso de obtención de un recubrimiento por esta vía se resume en cuatro pasos:

1. Reacciones de hidrólisis y policondensación para la obtención del sol.
2. Gelificación, es decir, transformación de sol a gel.

3. Secado del gel.
4. Sinterizado del gel después de evaporar los solventes presentes en él.

Se puede controlar la ramificación y en últimas la porosidad del recubrimiento favoreciendo las condiciones de hidrólisis y condensación, mientras más extensas sean estas reacciones más compacta será la película, los parámetros más importantes que afectan estas reacciones son: la naturaleza del alcóxido, ya que esta puede favorecer en mayor o menor medida las reacciones de hidrólisis y por ende de generación de especies para condensación, el pH, la relación agua/alcóxidos y si se adicionan catalizadores, el tipo de los mismos. Respecto a las condiciones de pH de la solución, se ha encontrado que las condiciones básicas favorecen la ramificación de las cadenas poliméricas que componen el material, mientras que en condiciones ácidas las moléculas del polímero presentan estructuras lineales, esto puede observarse de manera gráfica en la Figura 2 (Condiciones ácidas) y en Figura 3 (Condiciones básicas) [11].

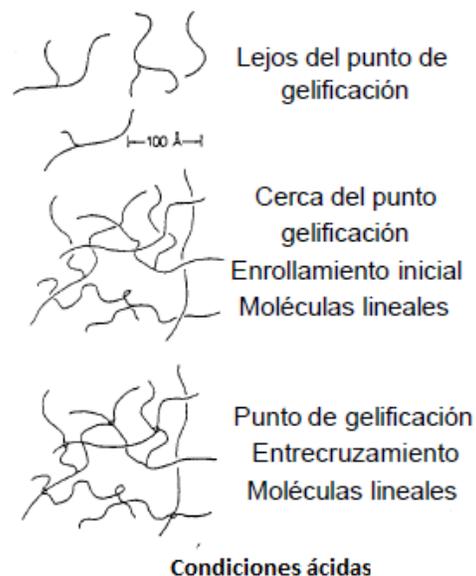


Figura 2. Descripción de las características lineales del proceso de gelificación en condiciones ácidas. [12]

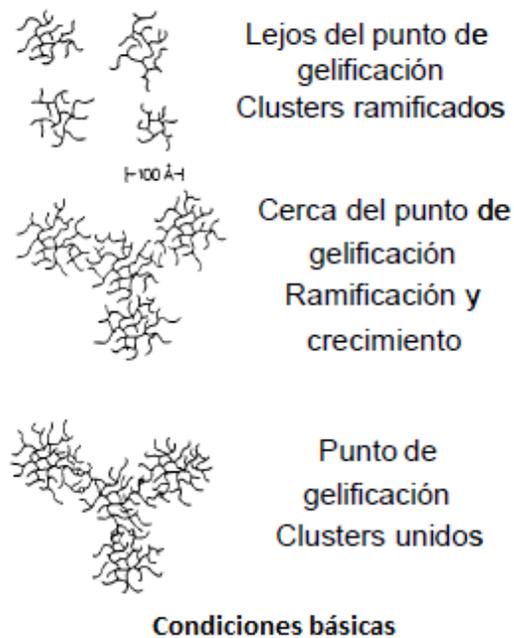


Figura 3. Descripción de las características ramificadas del proceso de gelificación en condiciones básicas. [12]

Es necesario que el sol adquiriera una consistencia suficiente para poder ser depositado, este proceso se conoce como la *transición sol-gel*, en esta etapa se produce un incremento de la viscosidad de la solución hasta alcanzar el punto de gelificación descrito en las figuras 2 y 3. El punto de gelificación se designa como t_g y es en este punto donde la viscosidad presenta un incremento repentino como resultado del entrecruzamiento de las cadenas poliméricas. El proceso de gelificación concede a la solución consistencia, densidad y viscosidad y se ve afectado por factores como la temperatura, la relación agua/alcóxidos y el pH, dichos factores pueden acelerar el proceso de gelificación, si se favorece la velocidad de este proceso se obtendrán estructuras más porosas debido a que las macromoléculas tienen poco tiempo para ordenarse, de esta manera quedan espacios entre ellas, sin embargo, esta porosidad puede disminuirse en la etapa de secado y sinterización.

2.4. Método de deposición

Recubrimiento por inmersión o dip coating

La técnica de recubrimiento por inmersión o *dip coating* es ampliamente utilizada ya que representa el procedimiento comercial más antiguo en deposición de soluciones sol-gel, además su bajo costo y la facilidad de implementación la hacen altamente utilizada en varios sectores industriales. Debido a esto es la más estudiada. En medios investigativos y de laboratorio es esencialmente utilizada por su bajo costo y la alta calidad del recubrimiento obtenido [13].

En este proceso de inmersión el sustrato es movilizado físicamente hasta un contenedor de la solución a depositar. El sustrato se introduce en la solución hasta que ésta recubra por lo menos la superficie que se busca recubrir. Luego de esto puede presentarse un periodo de tiempo de inmersión dando con esto lugar a interacciones entre el sustrato y la solución para posteriormente extraer el sustrato a velocidad constante, de este modo, la solución se despliega por capas sobre el sustrato. Al ser extraído el sustrato, las capas más externas no interactúan con él, de tal manera que por efecto gravitacional retornan al recipiente que contiene el resto de la solución. Este método de recubrimiento puede sintetizarse en cuatro pasos [10] [14]:

1. Inmersión del sustrato
2. Extracción del sustrato
3. Evaporación de solventes
4. Curado y consolidación de la película

El primer paso de inmersión del sustrato consiste, como su nombre lo indica, en el desplazamiento generalmente vertical del sustrato hasta el recipiente que contiene la solución. Este proceso se ilustra en la Figura 4.

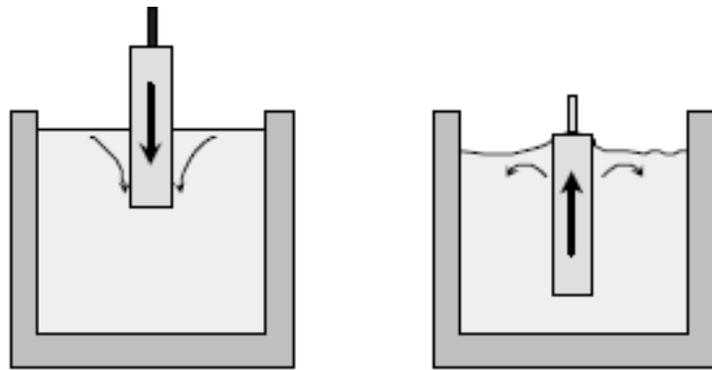


Figura 4. Proceso de inmersión. Tomado y adaptado de [15]

El segundo paso reviste más atención debido a que las propiedades finales de la película dependen en gran medida de las condiciones en las cuales se desarrolle éste. El sustrato es extraído verticalmente a velocidad constante del contenedor de la solución. El movimiento del sustrato genera un arrastre del material adherido a su superficie, lo que hace que el material de la solución emerja del recipiente contenedor y se produzcan efectos viscoelásticos en el sol dándose así un retorno del exceso de material como se muestra en la Figura 5.

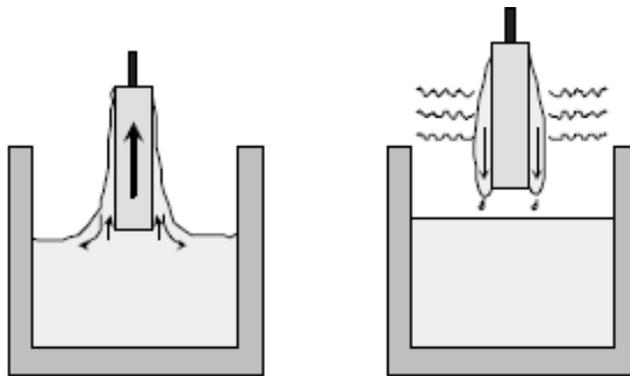


Figura 5. Proceso de extracción del sustrato y evaporación de los solventes. Tomado y adaptado de [15]

En este punto se presenta un estado estacionario entre el sol, el sustrato y la atmósfera donde se está realizando la depositación. Se establece entonces un punto de estancamiento en el cual se equiparan las presiones y la capa de material que se está desplazando adherida a la superficie del sustrato se divide en dos, una que retorna al recipiente por acción gravitatoria y otra que continúa su ascenso con el sustrato. En la Figura 6 se explica de manera gráfica este fenómeno.

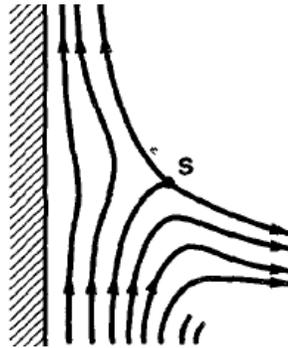


Figura 6. Punto S de estancamiento y división de la capa desplazada de material. Tomado y adaptado de [16] y [17]

Como puede apreciarse en la Figura 6, el espesor de la película es inversamente proporcional a la altura respecto a la superficie de la solución contenida en el recipiente. Debido a que el solvente se está evaporando y el sustrato se está desplazando a velocidad constante V_e en dirección contraria a la acción de la gravedad, la placa de material adherida al sustrato adquiere paulatinamente más consistencia y rigidez por la pérdida de material, este efecto combinado de contracción volumétrica se manifiesta en una línea de secado bien definida. En la Figura 7 puede apreciarse dicha línea de secado como el punto $X=0$.

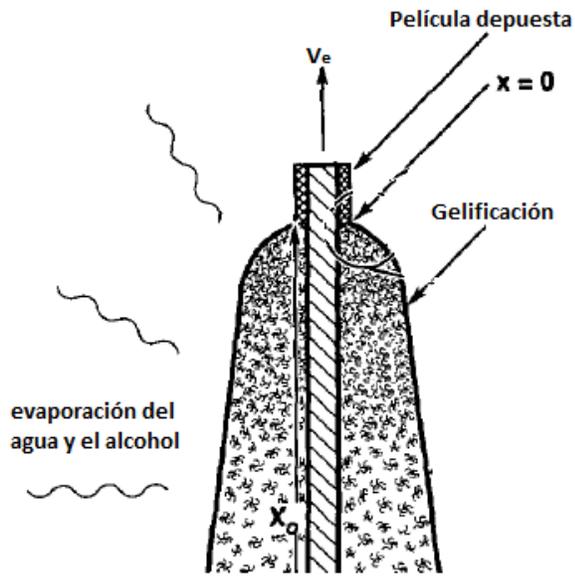


Figura 7. Detalle de la línea de secado. Tomado y adaptado de [18]

Debido a que el espesor de una película depositada por este método varía según el desplazamiento del sustrato, el espesor de la capa húmeda (contenedora de solventes aún sin evaporar) se convierte en una función de la posición $x-h(x)$ -, ya que conforme se avanza en la línea de secado el espesor de la capa varía. En la Figura 8 se ilustra esta relación.

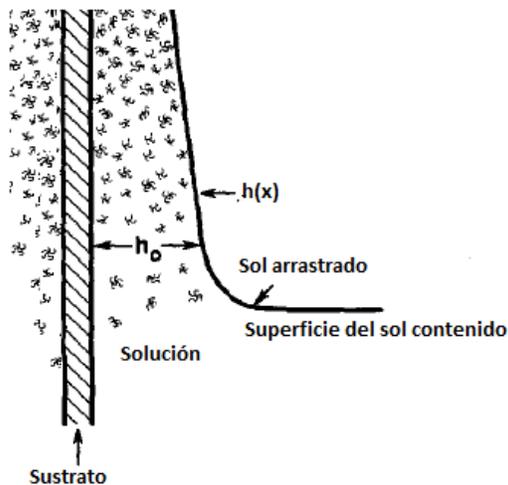


Figura 8. Espesor de la película húmeda $h(x)$. Tomado y adaptado de [18]

En la Figura 8 h_0 corresponde al espesor de la capa de material justo arriba del punto de estancamiento S.

En este estado estacionario existe la acción de seis tipos de fuerzas:

1. *Fuerza de arrastre o extracción (f_a)*: esta fuerza tiene lugar entre el sustrato y la solución. Al ser extraído el sustrato a velocidad constante se presentan interacciones de arrastre y adherencia del sol a la superficie del sustrato, esta fuerza es proporcional a la viscosidad η de la solución y a la velocidad de extracción V_e , de esta manera se puede establecer la relación (1).

$$f_a \propto \eta V_e \quad (1)$$

2. *Fuerza gravitacional f_g* : esta fuerza actúa en sentido opuesto a la fuerza de arrastre f_a y es directamente proporcional a la densidad del sol ρ . Con base en esto se puede establecer la relación (2)

$$f_g \propto \rho g \quad (2)$$

En donde g corresponde a la constante de aceleración gravitacional.

3. *Fuerzas derivadas de la tensión superficial σ_s* : esta fuerza da cuenta de la interacción sostenida por el líquido al ser arrastrado por el sustrato y la atmósfera donde se desarrolla la depositación, de este modo se presenta un efecto de menisco cóncavo asociado con la presión capilar. Se define a la presión capilar como la diferencia entre presiones de dos fases contenidas en un mismo sistema [19], atendiendo a esta definición se hace una diferencia de presiones entre la presión de la atmósfera de la cámara y la presión interna del sol. Esta diferencia se expresa en la ecuación

$$P_c = P_{atm} - \frac{\sigma_s}{r} \quad (3)$$

En donde r corresponde al radio característico del menisco.

4. *Inercia o momento de flujo de la capa de material arrastrado φ* : esta inercia es la responsable de formar vórtices de flujo al interior de la solución ya que al adherirse cierta cantidad de material a la superficie del sustrato y desplazarse con éste se presenta un efecto de arrastre interno en el sol, esto genera que dentro de la solución aparezcan especies laminares que tienden a seguir el desplazamiento del sustrato separándose éstas del resto del sol por una frontera imaginaria determinada por el arrastre experimentado. Depende además de la longitud sumergida del sustrato en la solución l . El momento de flujo está determinado por la ecuación (4).

$$\varphi = 0,66 \sqrt{\rho \eta V_e^3 l} \quad (4)$$

5. *Interacciones entre el sustrato y la fase líquida*: estas fuerzas son particularmente importantes en capas de espesores muy pequeños (inferiores a $1\mu\text{m}$), son interacciones electrostáticas que se pueden presentar entre las partículas del material y el medio coloidal, cuando existen soluciones iónicas puede referirse a interacciones electrostáticas.
6. *Gradientes de tensión superficial*: estas fuerzas generadas por el gradiente de tensión superficial corresponden a interacciones entre las macromoléculas que componen el polímero en la región superficial, ya que puede haber heterogeneidades presentes en el arreglo de estas macromoléculas generando así tensiones de tracción o efectos de esfuerzo cortante.

En los casos en que la viscosidad del sol es suficientemente alta al igual que la velocidad de extracción, el espesor de la película sólo depende de la interacción de arrastre (fuerza de arrastre f_a) y el efecto asociado con la interacción gravitatoria. En este caso la expresión que relaciona estas variables es la ecuación (5)

$$t_l = C \left(\frac{\eta V_e}{\rho g} \right)^{1/2} \quad (5)$$

En donde la constante C se designa para los fluidos newtonianos como 0,8.

En la obtención de sustratos por inmersión la viscosidad de la solución y la velocidad de arrastre o extracción del sustrato de la solución son bajas, en este caso la relación utilizada para determinar el espesor de película se torna más compleja ya que se deben tener en cuenta los efectos asociados a la viscosidad de la solución en diferentes grados. Para estos casos se utiliza la expresión de Landau-Levich -véase ecuación (6)-, en la cual se pueden identificar una constante determinada experimentalmente (0,94), un término en el denominador asociado a los efectos viscoelásticos de la solución en la zona de superficie – tensión superficial- (σ_s) y un término de velocidad de arrastre V_e más preponderante ya que se encuentra elevado a la fracción 2/3.

$$t_l = 0,94 \frac{(\eta V_e)^{2/3}}{\sigma_s^{1/6} (\rho g)^{1/2}} \quad (6)$$

O bien, con la introducción del concepto de número de capilaridad N_c que corresponde a la relación (7).

$$N_c = \frac{\eta V_e}{\sigma_s} \quad (7)$$

Remplazando la relación (7) en la ecuación (6) se obtiene:

$$t_l = 0,94 \left(\frac{\eta V_e}{\rho g} \right)^{1/2} (N_c)^{1/6} \quad (8)$$

Nótese que las ecuaciones (8) y (5) pueden ser equivalentes para los casos en que $0,94(N_c)^{1/6}$ sea igual a 0.8, de este el número de capilaridad debe ser suficiente bajo ($N_c = 0,379$).

La densificación de la solución es un proceso en el cual las moléculas que componen el sol se aproximan unas a otras formando una red polimérica que concede consistencia a la solución, esta red empieza a ganar rigidez de acuerdo a la evaporación de los solventes y a las acciones de condensación que se presentan en las especies poliméricas de la capa, cuando se combinan estos efectos se da el proceso de gelificación; debido a que el sustrato ha arrastrado en su movimiento parte del material del sol aparece un flujo de material debido a la acción gravitatoria, cuando el entrecruzamiento polimérico es tan rígido que logra detener el flujo de material por efecto gravitacional, se considera que la solución ha gelificado [6] [20] [21] [22].

Es común encontrar en los recubrimientos depositados por inmersión irregularidades topográficas en la zona superficial y defectos tales como vórtices, hoyos, hendiduras y superficies rugosas en forma de olas. Algunos hoyos son causados por aire atrapado dentro de la solución, contaminación de la solución o polvo presente en la superficie del sustrato [23].

2.5. Consideraciones del reactor

Se concluye que los principales parámetros de operación a tener en cuenta en un instrumento de este tipo son:

1. Velocidad de inmersión

2. Velocidad de extracción
3. Longitud máxima de carrera
4. Número de ciclos de inmersión
5. Tiempo de inmersión
6. Tiempo de retardo entre ciclos
7. Longitud máxima admisible de sustrato sumergible
8. Carga máxima soportada

Estas especificaciones están directamente relacionadas con la instrumentación y construcción del dispositivo.

Para realizar el movimiento de extracción de los recubrimientos generalmente se utilizan motores controlados que regulan la velocidad y la mantienen constante durante todo el proceso de extracción. El tanque de depositación y el motor así como el eje o mecanismo que sirva de soporte al sustrato y genere su movimiento deben estar aislados de vibraciones, además deben ellos mismos vibrar en la menor medida posible para garantizar que la superficie del recubrimiento conserve sus características completamente aisladas de tales efectos. Por pequeña que sea la magnitud de una perturbación durante el proceso de extracción, se manifestará en una banda horizontal que atraviesa la superficie del sustrato. El motor debe tener un alto grado de calidad a modo que su movimiento sea muy suave, esto mismo aplica para el mecanismo que se utilice para desplazar el sujetador del sustrato, si se utilizan reductores o piñones para transformar o alterar el movimiento del motor también deben presentar características de movimiento muy suave, corrido y sin vibraciones que puedan afectar el procedimiento. Los motores paso a paso son fácilmente programables para desarrollar velocidades de depositación distintas y en número variable de ciclos, sin embargo, su operación de desplazamiento discreto genera jalones afectando así la calidad de la película. Se debe también controlar la longitud recorrida por el sustrato, esta distancia se conoce como *longitud de carrera* y es determinante en la programación del motor. Un factor clave en el proceso es el

sujetador del sustrato, debe ser tan simple como funcional, una delgada banda de acero puede resultar ideal para ciertas geometrías. Aún en las mejores condiciones de operación y utilizando los mejores equipos e instrumentos, en la práctica los valores teóricos pueden no ser los obtenidos experimentalmente, aunque el principio básico es que a mayores velocidades de depositación, el espesor de la película deberá ser mayor. La posibilidad de insuflar distintos gases en la cámara de depositación del reactor permite recrear atmósferas gaseosas para desarrollar el procedimiento pero implica que el mecanismo definido para realizar el desplazamiento de los sustratos esté fabricado en un material químicamente estable, o que posea un recubrimiento que le permita conservar sus características mecánicas y vida útil.

3. METODOLOGÍA Y DESARROLLO

Para la ejecución del proyecto se establecieron 4 etapas:

3.1. Etapa 1. Revisión bibliográfica y comercial.

En esta etapa tuvo lugar el procesamiento de la información recolectada a lo largo de la revisión del estado del arte [24] referente a sistemas de recubrimiento por inmersión de sustratos para diferentes aplicaciones, además, se identificaron y referenciaron parámetros de operación de los procesos de hidrólisis y condensación del sol-gel.

Antecedentes comerciales

Debido a la antigüedad que presenta la técnica de recubrimiento por inmersión y a sus múltiples aplicaciones industriales comerciales muy desarrolladas, entre las que se encuentran la industria automotriz, la industria aeroespacial, la industria electrónica, la industria médica, la industria de fabricación deportiva, la industria de dotación militar, entre otras [4], existe gran cantidad de equipos destinados a realizar este procedimiento, siendo su principal característica un control automatizado por computadores o microcontroladores que les permite disminuir los efectos contaminantes del medio ambiente.

La marca alemana BUNGARD comercializa un dispositivo dotado con un motor paso a paso para controlar el movimiento lineal del sujetador del sustrato.

La referencia de este dispositivo es RDC-15. Su estructura está fabricada en perfiles de aluminio delgados (Figura 9), lo que lo hace muy flexible y fácilmente adaptable a los recipientes destinados a contener la solución en la cual se va a sumergir el sustrato pero no está dotado de algún sistema de aislamiento de vibraciones, al ser un dispositivo abierto, no es posible crear atmósferas especiales donde se realice el proceso de recubrimiento por inmersión.

Mediante su avanzada interfaz se pueden programar parámetros de operación como el tiempo de duración de un ciclo de inmersión, el periodo de inmersión y la duración entre ciclos pueden ser indicados en un rango de entre 5 s y 100 h, la velocidad de inmersión y de extracción es ajustable en un intervalo que va desde los 30 a los 7200 mm/ min.



Figura 9. Aspecto del reactor comercial modelo RDC-15.

Las principales características técnicas de este dispositivo son:

- ✦ Máxima longitud de carrera: 600 mm
- ✦ Máxima carga permitida: 1,5 kg
- ✦ Peso del dispositivo: 12 kg
- ✦ Dimensiones: 280x470x960 mm (Base, profundidad, altura)
- ✦ Velocidad de inmersión: programable entre 30 y 7200 mm/min

-  Velocidad de extracción: programable entre 30 y 7200 mm/min
-  Tiempo de inmersión: programable desde 0,5 s a 100 h
-  Tiempo de espera entre ciclos: programable desde 0,5 s a 100 h
-  Fuente de alimentación: 100-240 V a 50 ó 60 Hz; 1,6 A
-  Potencia máxima: 100 W

Dip Coater RDC 21-K

Otro dispositivo ofrecido por la firma BUNGARD es una versión mejorada del *RDC15* pues conserva su estructura liviana y delgada (Figura 10) pero además cuenta con un tablero de programación que le ofrece más facilidades al usuario de interactuar con el instrumento. En la Figura 11 puede observarse el tablero de control.



Figura 10. Estructura del reactor comercial modelo RDC 21-K.



Figura 11. Tablero del reactor comercial modelo RDC 21-K.

Posee un botón para finalizar el proceso si así lo estima el usuario. Permite seleccionar de manera independiente las velocidades de depositación y de extracción. Posee un motor paso a paso mucho más robusto que el *RDC15* que eleva su capacidad de carga más de tres veces.

Puede alcanzar velocidades de inmersión y extracción mucho menores que el *RDC15*. Los parámetros de trabajo permanecen almacenados aún después de haber apagado el dispositivo, además, el sistema del controlador es removible.

Este dispositivo no presenta un sistema de aislamiento de vibraciones para el contenedor del sol, y tampoco es posible operarlo en atmósferas controladas ya que se trata de un dispositivo abierto.

Las principales características técnicas se describen a continuación:

 Máxima longitud de carrera: 580 mm

 Carga máxima admisible: 5 kg

 Peso del dispositivo: 12 kg

 Dimensiones: 280x470x960 mm (Base, profundidad, altura)

 Velocidad de inmersión: programable entre 3 y 3500 mm/min

-  Velocidad de extracción: programable entre 3 y 3500 mm/min
-  Tiempo de inmersión: programable desde 0, 5 s a 100 h
-  Tiempo de espera entre ciclos: programable desde 0,5 s a 100 h
-  Iteraciones: más de 100 por proceso de inmersión
-  Fuente de alimentación: 100-240 V a 50 ó 60 Hz; 3 A
-  Potencia máxima: 100 W

Dip Coater RDC 30 Multidip

Una tercera opción comercial que resulta interesante es el RDC-30 Multidip. Este dispositivo es también comercializado por la empresa BUNGARD y presenta todas las ventajas que ofrece el modelo *RDC21-K* pero además cuenta con un carrusel (ver Figura 12) integrado que le permite realizar procesos de inmersión de sustratos en varias soluciones incluso en un mismo ciclo. Puede programarse de modo tal que cada uno de los recipientes reciba un determinado sustrato con condiciones específicas de procesamiento. Incorpora un sistema de agitación magnética que puede alcanzar velocidades angulares de hasta 999 rpm por minuto. La velocidad de extracción puede programarse desde 3 hasta 7000 mm/min. Posee la capacidad de almacenar parámetros de programación de procesamiento [25]. Al tratarse de un dispositivo abierto, no es posible realizar el procedimiento de recubrimiento por inmersión en condiciones desaireadas ni de atmósferas especiales.



Figura 12. Dip Coater RDC 30 Multidip, unidad con carrusel multi-solución.

Es importante observar que los dispositivos descritos no poseen un sistema de aislamiento de las vibraciones del medio en el cual se encuentra operando el dispositivo, tampoco se observa la inclusión de algún mecanismo para determinar si el dispositivo está nivelado y cómo corregir la desnivelación en caso de que no lo esté. La mayoría de dispositivos comerciales no poseen una cámara de depositación con posibilidad de insuflar gases para realizar el procedimiento de recubrimiento por inmersión en atmósferas especiales o en condiciones de desaireación. Estas características fueron tenidas en cuenta para ser implementadas en el reactor a fin de potenciarlo como herramienta de investigación.

Síntesis conceptual

Una vez identificadas las características que presentan los dispositivos comerciales de depositación por inmersión y los aspectos teóricos reportados en la literatura, se plantearon posibles soluciones funcionales con miras a implementarlas en el dispositivo que se pretende construir. Producto de esta

etapa se sintetizó la información, dando origen a la siguiente tabla de parámetros de operación:

PARÁMETRO	RANGO NUMÉRICO	UNIDAD DE MEDIDA	SENSOR
Velocidad de inmersión	1-20	mm/min	ENCODER
Velocidad de extracción	1-20	mm/min	ENCODER
Longitud máxima de carrera	100	mm	N.A.
Número de ciclos de inmersión	1-100	Ciclo	Contador
Tiempo de inmersión	1-36000	s	Contador
Tiempo de retardo entre ciclos	1-36000	s	Contador
Longitud máxima admisible de sustrato sumergible	20	mm	N.A.
Carga máxima soportada	45	g	N.A.

Tabla 1. Rango de parámetros deseables de operación del reactor.

Las especificaciones descritas en la Tabla 1 están directamente relacionadas con la instrumentación y construcción del dispositivo, ya que aunque el procedimiento de obtención de soluciones viscosas (sol-gel) es crítico para el desarrollo del procedimiento, el interés de este proyecto es la construcción de un reactor que garantice la repetitividad del proceso.

3.2. Etapa 2. Diseño conceptual y funcional.

En esta etapa se obtuvieron los diseños finales extraídos de la conjugación de parámetros de operación, soluciones asignadas, especificaciones de diseño, oferta comercial y disponibilidad de maquinaria requerida.

El reactor está destinado a ambientes de investigación tales como laboratorios, por tal motivo los colores seleccionados para éste deben ser sobrios. El color seleccionado fue el negro. El nombre y la referencia seleccionada para el

dispositivo son Dip Coater 136 y DC-136, respectivamente. El logotipo seleccionado para el aparato puede apreciarse en la Figura 13. Con él se expresa la esencia misma del proyecto, un sustrato extrayéndose de un contenedor de solución y unas gotas de exceso de material sobre el sustrato retornando por acción gravitacional al contenedor.



Figura 13. Logotipo seleccionado para el dispositivo.

Producto del análisis de los datos registrados en la Tabla 2, en la cual además, se asigna una valoración como Demanda (identificada con la letra “**D**”) o Necesidad (identificada con la letra “**N**”), de acuerdo a una diagramación TRC (Tabla de Requerimientos del Cliente [26]), se extrae el modelo CAD identificando con él el cumplimiento de los requisitos descritos en la TRC y las implicaciones técnicas de su fabricación. Por medio de dicho modelo CAD se realiza posteriormente la generación de planos de diseño, montaje, detalle, operación y catálogo, para este fin se utilizó la herramienta CAD Solid Works 2011 y ANSYS en los laboratorios de la Universidad EAFIT.

	ÍTEM	CONCEPTO	OBSERVACIÓN
1	Posibilidad de graduar la inclinación del dispositivo	N	Con ayuda de un nivel y unos pines roscados variables
2	El dispositivo permite el ingreso de gases a la cámara de depositación	D	Implementación de racores y válvula de cierre
3	El diseño del artefacto permite visualizar el proceso de dip coating	D	Instalación de paredes en policarbonato traslúcido en los costados
4	Posibilidad de acceder fácilmente a los compartimentos donde se encuentren los componentes mecánicos y electrónicos	N	Tapas de inspección y fácil montaje y desmontaje de componentes
5	Uso de materiales resistentes químicamente dentro de la cámara de reacción	N	Uso de tornillería plástica, tratamiento anticorrosivo de materiales metálicos y galvanizado de interiores, resinado polimérico de elementos tipo base y fabricación de pieza central en Nylon auto lubricado
6	La velocidad de inmersión/extracción debe ser inferior a 1 mm/min	N	El rango de operación asignado es de 0,1 a 50 mm/min
7	La longitud de carrera debe permitir extraer completamente los sustratos	N	Se ha dispuesto una longitud de carrera de 100 mm, la cual puede incluso rebasarse
8	La longitud del sustrato debe ser superior a 15 mm	N	El dispositivo permite insertar sustratos de hasta 25 mm de longitud
9	Debe existir un tiempo de retardo entre ciclos para el secado	N	El dispositivo exhibe un rango de 1 a 36000 s para este tiempo de retardo
10	Debe existir un tiempo de inmersión	N	El dispositivo exhibe un rango de 1 a 36000 s para este tiempo de inmersión
11	Debe conservarse la estabilidad durante el proceso	N	Implementación de pines roscados para variar inclinación, estructura en acero firmemente soldada, topes de caucho para aislar vibraciones
12	Debe permitirse el intercambio fácil y rápido de sustratos	N	Mecanismo de sujeción de fácil manipulación con resortes

Tabla 2. TRC y especificaciones requeridas.

3.2.1. Diagrama de flujo

Entradas

 Materia: sustrato, sol.

 Energía: energía eléctrica.

 Información: usuario, datos (valores).

Proceso principal: recubrir.

Salidas

 Materia: sustrato recubierto, sol solidificado en película delgada.

 Energía: calor, ruido.

 Información: usuario satisfecho, valores utilizados en la secuencia algorítmica.

En la Figura 14 puede apreciarse el diagrama de flujo con mayor detalle correspondiéndose a las distintas etapas del proceso relacionadas con la Tabla 3, en la cual se asigna cada una de las funciones al componente encargado de ejecutarla dentro de la máquina.

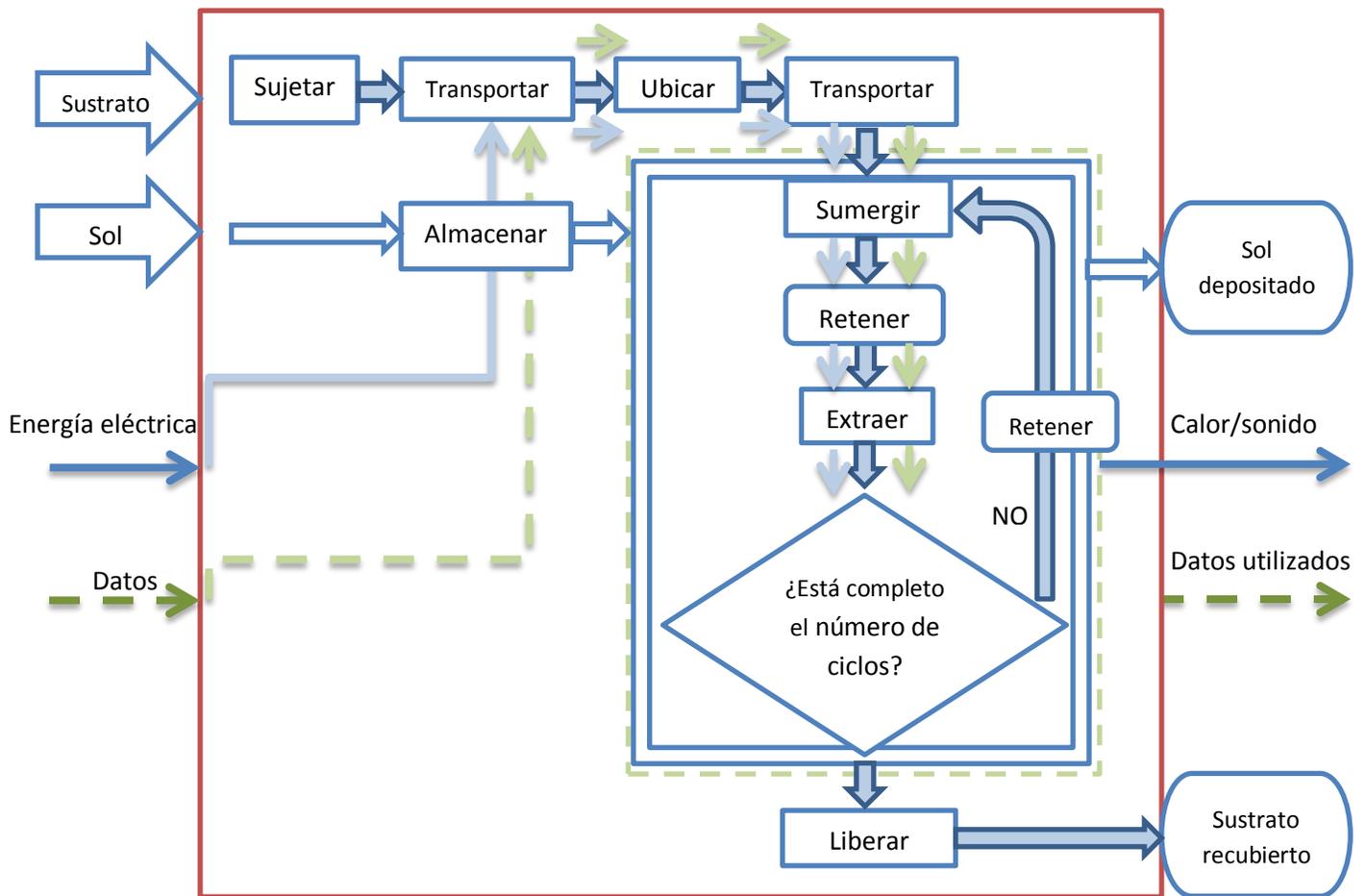
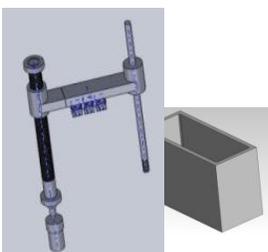
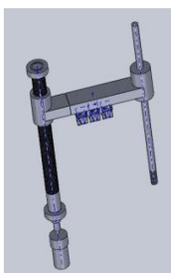


Figura 14. Diagrama de flujos principales y secundarios del reactor Dip Coater.

SECUENCIA	FUNCIÓN/ACCIÓN	COMPONENTE/MECANISMO SELECCIONADO	IMAGEN	FLUJOS
1	Ingreso de datos	Teclado alfa numérico		Datos Usuario Energía eléctrica
2	Sujetar	Gancho sujetador		Sustrato Usuario
3	Transportar/ubicar	Mecanismo motor husillo brazo		Datos Sustrato Energía eléctrica
4	Sumergir	Mecanismo motor husillo brazo Contenedor		Datos Sustrato Energía eléctrica
5	Retener	Mecanismo motor husillo brazo		Datos Sustrato Energía eléctrica

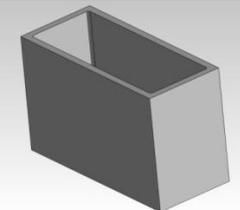
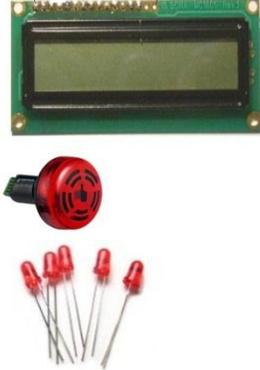
6	Extraer	Mecanismo motor husillo brazo		Datos Sustrato Energía eléctrica
7	Liberar	Gancho sujetador		Sustrato Usuario
8	Almacenar	Contenedor		Sol-gel
9	Egreso de datos	Display LCD Alarma LED		Datos Energía eléctrica

Tabla 3. Funcionalidad de componentes.

3.2.2. Análisis funcional.

Ingreso de datos: constituye el inicio del procedimiento, el usuario tiene la posibilidad de editar las siguientes variables:

 Velocidad de extracción desde 1 hasta 20 mm/min con valores enteros.

 Velocidad de inmersión 1 hasta 20 mm/min con valores enteros.

 Tiempo de inmersión desde 0 hasta 36000 s con valores enteros.

 Tiempo de retardo entre ciclos desde 0 hasta 36000 s con valores enteros.

 Número de ciclos desde 1 hasta 100 con valores enteros.

Sujetar: por medio de ganchos ubicados en el mecanismo central. Esta acción es realizada manualmente por el usuario.

Transportar: esta acción se realiza por medio del accionamiento del motor y del mecanismo central, el cual desplaza los sustratos desde el punto de inicio de la carrera, hasta el punto de inmersión y posterior extracción.

Ubicar: se ejecuta automáticamente y radica en posicionar el sustrato en el punto de inicio de la carrera.

Sumergir: esta acción es ejecutada por accionamiento del motor, el desplazamiento del mecanismo central y el sol ubicado en un recipiente al punto final de la carrera. Este proceso hace parte del ciclo, el cual puede ser repetido de acuerdo al número de ciclos referente en los datos suministrados por el usuario al inicio del proceso.

Retener: esta acción es alternativa y puede o no llevarse a cabo, se ejecuta siempre y cuando el valor asignado a la variable “tiempo de inmersión” sea distinto de cero. Ocurre también alternativamente cuando se indica que el tiempo de retardo entre ciclos es distinto de cero.

Extraer: al igual que al sumergir, esta acción es desarrollada por el accionamiento del motor conjuntamente con el mecanismo central. Puede repetirse de acuerdo al número de ciclos estipulados por el usuario.

Liberar: es una acción manual que da fin al procedimiento, ocurre cuando el usuario decide retirar el sustrato recubierto del gancho que lo sujeta.

Almacenar: acción sólo establecida para el sol, el cual está contenido en un recipiente al que ingresa el sustrato en el proceso de inmersión.

Egreso de datos: esta acción es ejecutada por el display, la alarma sonora y los LED que permiten detectar por parte del usuario el estado de funcionamiento de la máquina. En el display se pueden visualizar y corroborar los datos ingresados como variables de entrada, la alarma sirve para identificar el final del procedimiento o la interrupción del mismo debido a algún problema detectado. Función similar tienen los LED que indican el fin del procedimiento y la suspensión del mismo si se identifica alguna anomalía.

3.2.3. Componentes

El dispositivo consta de tres secciones –ver Figura 15-, la parte inferior contiene los sistemas de desplazamiento mecánico del sistema y los circuitos necesarios para el funcionamiento del motor, asimismo, contiene el arreglo del *Encoder* en el mismo eje del motor. La sección central constituye la cámara de inmersión, es donde se encuentra el mecanismo central que soporta los sustratos y se desplaza hasta el contenedor del sol, en esta sección se encuentran los sensores de inicio y fin de carrera y el sensor de fin de procedimiento. En la sección superior se encuentran los sistemas de interacción con el usuario, es decir, el teclado y el display LCD. También allí reposan los circuitos electrónicos que dan funcionamiento a estos sistemas y el microcontrolador.



Figura 15. Descripción general del dispositivo.

3.2.3.1. Mecanismo central

Está fabricado en Nylon autolubricado, ya que se encontró en la literatura las ventajas de utilizar este material para un mecanismo de transmisión de movimiento como este. Algunas de estas ventajas son:

- ✎ El Nylon tiene excelente rigidez estructural, lubricidad y resistencia al desgaste.
- ✎ Posee alta resistencia y estabilidad química.
- ✎ El bajo coeficiente de fricción del Nylon permite su uso en numerosas aplicaciones en donde no pueden usarse lubricantes.
- ✎ El comportamiento en el trabajo de bujes fabricados en Nylon acoplados a ejes de acero es muy superior al de los bujes metálicos, ya que la resistencia al desgaste del Nylon es muy buena.

- El Nylon también absorbe el ruido producido por fricción entre partes metálicas adyacentes.
- Su uso es amplio en aplicaciones de ingeniería mecánica gracias a su resistencia al desgaste y a la abrasión, no es afectado por el óxido (no se oxida), y por tratarse de un polímero sintético el Nylon tiene mayor resistencia química que los metales [27] [28].

El mecanismo central está conformado por tres componentes, un husillo al que se encuentra unido mecánicamente un buje roscado en su interior. Al girar el husillo por acción del motor, el buje se desplaza linealmente. El buje está soldado a un brazo horizontal que se encuentra pivotado en su extremo opuesto a un eje liso, el cual sirve de guía para el desplazamiento lineal del brazo. En el centro geométrico del brazo mencionado, se encuentra un elemento en forma de rectángulo en el cual reposan los ganchos de resorte que sostienen los sustratos a sumergir. El mecanismo está ubicado en la cámara de inmersión en la sección central. En la Figura 16 pueden apreciarse sus partes.

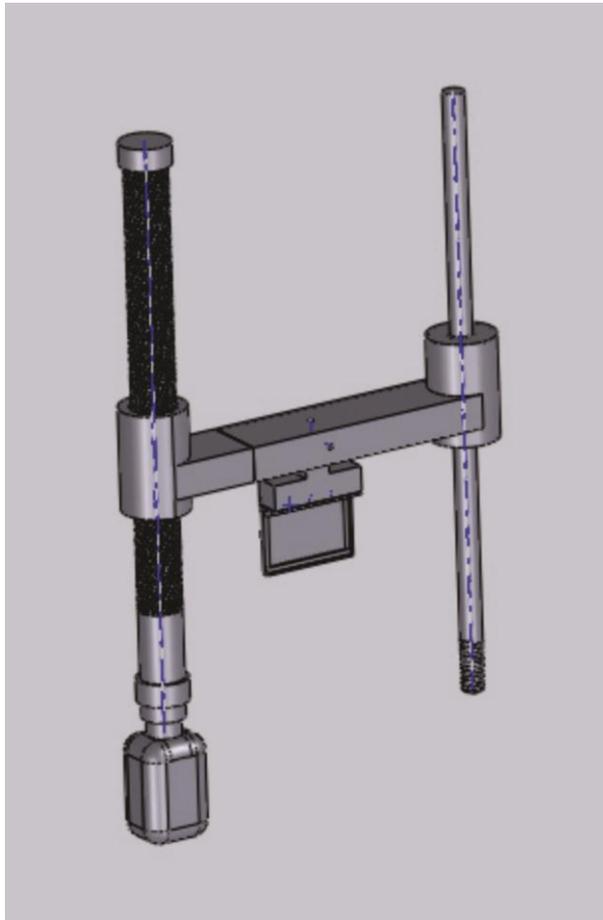


Figura 16. Mecanismo central.

La mecánica que corresponde al mecanismo central consta de dos partes, primero es necesario considerar el movimiento rotacional que implica el uso y ubicación del motor dentro del mecanismo central. La segunda parte es considerar la mecánica del husillo y el conjunto pivotado.

Partiendo de la base de que la inercia rotacional del conjunto completo debe ser vencida (como si el mecanismo girara en solidario al eje de rotación del tornillo principal), entonces puede simplificarse el mecanismo como un eje principal de rotación con rodamientos en sus extremos y un buje acoplado, además el brazo puede entenderse como una vara pivotada en su extremo opuesto pero que aporta su inercia al giro del tornillo sin fin como se observa en la Figura 17.

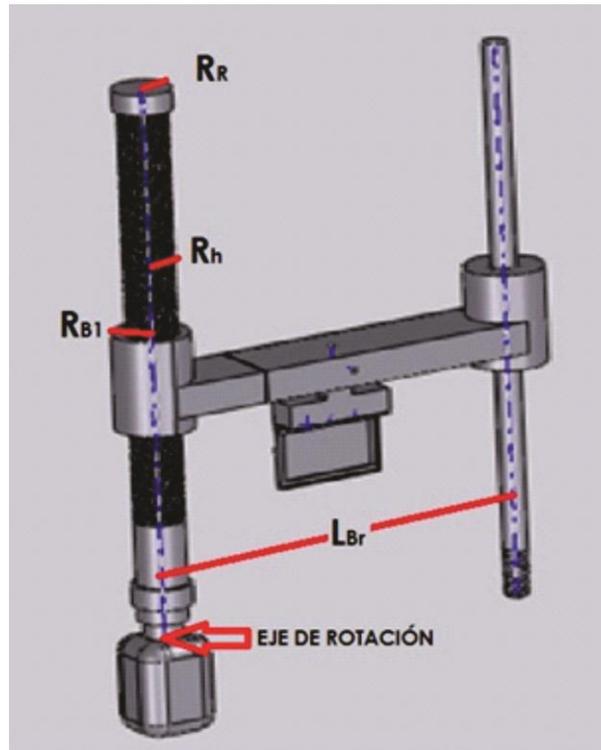


Figura 17. Simplificación de dimensiones del mecanismo central.

Lo que para efectos del cálculo de la sumatoria de momentos de inercia deriva en [29] [30]:

$$I_T = \frac{M_h R_h^2}{2} + \frac{M_{B1}(R_{B1i}^2 + R_{B1e}^2)}{2} + M_R R_R^2 + \frac{M_{Br} L_{Br}^2}{3} \quad (9)$$

En donde:

I_T =Inercia total.

M_h =Masa husillo.

M_{B1} =Masa buje 1.

M_R =Masa del rodamiento. Para el dispositivo se utilizaron dos rodamientos iguales.

M_{Br} =Masa del Brazo.

R_h =Radio del husillo.

R_{B1i} =Radio interior del buje acoplado número 1 que tiene contacto mecánico por medio de rosca con el husillo.

R_{B1e} =Radio externo del buje número 1.

R_R = Radio del rodamiento. Existen dos rodamientos a cada extremo y son completamente iguales, además giran en solidario con el husillo.

L_{Br} = Longitud del brazo.

Teniendo en cuenta los siguientes datos obtenidos experimentalmente:

$$M_h = 290 \text{ g}$$

$$M_{B1} = 85 \text{ g}$$

$$M_R = 115 \text{ g}$$

$$M_{Br} = 155 \text{ g}$$

$$R_h = 12.5 \text{ mm}$$

$$R_{B1e} = 21.5 \text{ mm}$$

$$R_{B1i} = 12.5 \text{ mm}$$

$$R_R = 27 \text{ mm}$$

$$L_{Br} = 222 \text{ mm}$$

Con lo cual obtendremos la expresión (9) como:

(9a)

$$I_T = \frac{290g(12.5mm)^2}{2} + \frac{85g[(21.5)^2 + (12.5)^2]}{2} \\ + 115g(27mm)^2 + \frac{155g(222)^2}{3}$$

(9b)

$$I_T = 2,64 \times 10^{-3} \text{kgm}^2$$

Por otro lado, la relación de desplazamiento del brazo está relacionada con la mecánica de los tornillos de potencia, que son utilizados para transformar un movimiento de tipo circular en uno de tipo lineal, conservando generalmente las características de potencia provenientes de la fuente original del movimiento [31] [32]. Particularmente en el mecanismo central del DC 136 se tiene un tornillo de potencia encargado de transformar el movimiento angular que otorga el motor en un desplazamiento lineal del brazo porta sustratos. En la mecánica de los tornillos de potencia son de interés los términos de diámetro d , paso p , avance l , diámetro interno d_c y diámetro medio d_m . Estas magnitudes pueden apreciarse en la Figura 18.

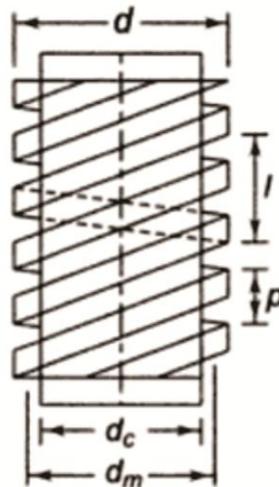


Figura 18. Descripción de parámetros de tornillos de potencia.

El perfil de la rosca utilizada es de tipo cuadrada con una profundidad de 0.8 mm y un paso de 1 mm como puede apreciarse en la Figura 19.

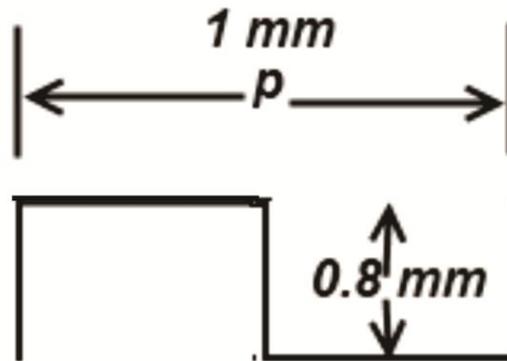


Figura 19. Paso de rosca y profundidad de rosca del husillo.

Existe una diferencia entre las expresiones que relacionan la torsión requerida para vencer la fricción del sistema rosca-buje según sea el sentido de giro. Es decir, si se está elevando o bajando la carga. Inicialmente cuando se está elevando la carga, puede observarse una fuerza F_E actuando contrariamente al avance de la rosca como se describe en la Figura 20.

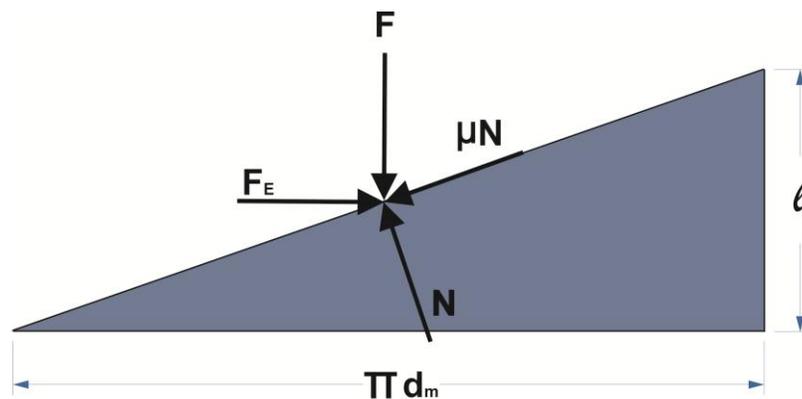


Figura 20. Descomposición de fuerzas en la rosca para subir la carga.

Para el caso en el que se está levantando la carga, la expresión de la torsión requerida es:

$$T_E = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{l + \pi \mu d_m}{\pi d_m - \mu l} \right) \quad (10)$$

En donde:

T_E = Par de torsión necesario para superar la fricción en la rosca y levantar la carga.

F = Fuerza de compresión a la cual se tiene sometido el husillo, esta fuerza corresponde al peso del brazo incrementado con el peso del buje roscado.

$$F = (M_{B1} + M_{Br} + M_s) * g \quad (11)$$

En donde M_s corresponde a la masa de los sustratos y del soporte de los ganchos de los cuales se encuentran suspendidos los sustratos. Los ganchos son tres y cada uno tiene una masa de 25 g, los sustratos supuestos con una masa de 15 g cada uno (45 g en total). Esto supone que la expresión (11) corresponde a:

$$F = (85g + 155g + 120g) * 9,8 \frac{m}{s^2} \equiv 3,5N \quad (11a)$$

d_m =Diámetro medio, es el resultado de la ponderación entre el radio máximo o exterior y el mínimo o interior de la rosca. Para el mecanismo del dip coater la expresión del diámetro medio corresponde al promedio del diámetro externo d y el diámetro interno d_c :

$$d_m = \frac{d + d_c}{2} \quad (12)$$

Reemplazando los valores en (12), se obtiene:

$$d_m = \frac{25\text{mm} + 23.4\text{mm}}{2} = 24.2\text{ mm} \quad (12a)$$

l =Avance: describe el paso medio de la rosca por una revolución, esta longitud es una distancia vertical medida desde el extremo inclinado de la rosca hasta la base media de la misma, que resulta de proyectar la base de la rosca sobre un plano paralelo al eje de avance del husillo, justo después de una revolución. Al tratarse de una rosca sencilla y no compuesta, el valor del paso corresponde al mismo del avance.

μ = Coeficiente de fricción.

Teniendo en cuenta:

$$l = 1\text{ mm} \equiv 0,001\text{ mm}$$

$$\mu = 0,3 \quad [33]$$

Cuando ocurre lo contrario, es decir, que el husillo está bajando la carga, actúa una fuerza F_B de bajada como se aprecia en la Figura 21.

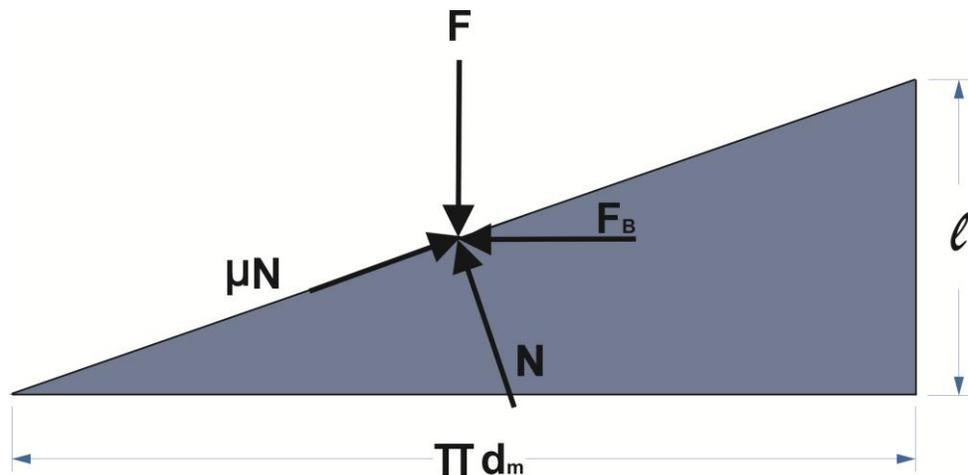


Figura 21. Descomposición de fuerzas cuando se baja la carga.

La expresión que designa la torsión mínima para vencer la fricción y la inercia rotacional inicial del tornillo bajando la carga es:

$$T_B = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{\pi \mu d_m - l}{\pi d_m + \mu l} \right) \quad (13)$$

La diferencia entre las expresiones (10) y (13) se debe a que cuando la rosca está girando hacia la derecha, su pared experimenta una fuerza por parte de la contrarrosca del buje, dicha fuerza tiende a expulsar a la rosca del husillo del eje de rotación. Mientras que cuando la rosca gira hacia la izquierda está descendiendo, lo que significa que ahora es la rosca la que presiona a la contrarrosca del buje.

La existencia de collarines para mejorar el rendimiento del tornillo tiene cabida en la torsión propia del collarín, dicha reacción se calcula mediante la expresión (14)

$$T_c = \frac{F \mu_c d_c}{2} \quad (14)$$

En lo cual:

T_c = Torsión mínima para vencer la fricción del collarín.

F = Fuerza de compresión que experimenta el husillo.

μ_c = Coeficiente de fricción del collarín, rodamiento de bolas de acero 0,0015. **[34]**

d_c = Diámetro medio del collarín. En el caso del rodamiento éste es de 37 mm.

Al tratar de determinar los efectos relacionados con las torsiones mínimas requeridas para poder desplazar la carga (sea hacia arriba o hacia abajo) se debe sumar a cada expresión el término correspondiente a la torsión mínima del collarín. De esta manera la torsión total T_{ET} para levantar una carga se obtendrá de sumar las ecuaciones (10) y (14) obteniéndose **[35]**:

$$T_{ET} = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{\pi \mu d_m - l}{\pi d_m + \mu l} \right) + \frac{F \mu_c d_c}{2} \quad (15)$$

Remplazando los valores conocidos se puede obtener la torsión total mínima requerida para vencer la fricción de la rosca y elevar la carga.

$$T_{ET} = \frac{3,5 * 0,0242}{2} \left(\frac{0,001 + \pi * 0.3 * 0,0242}{\pi * 0,0242 - 0.3 * 0,001} \right) + \frac{3,5 * 0,0015 * 0,037}{2} \quad (15a)$$

$$T_{ET} = 1,34 \times 10^{-2} \text{ Nm} \quad (15b)$$

De manera análoga se procede para el cálculo del par de torsión para bajar la carga:

$$T_{BT} = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{\pi \mu d_m - l}{\pi d_m + \mu l} \right) + \frac{F \mu_c d_c}{2} \quad (16)$$

$$T_{BT} = \frac{3,5 * 0,0242}{2} \left(\frac{\pi * 0.3 * 0,0242 - 0,001}{\pi * 0,0242 + 0.3 * 0,001} \right) + \frac{3,5 * 0,0015 * 0,037}{2} \quad (16a)$$

$$T_{BT} = 1,22 \times 10^{-2} \text{ Nm} \quad (16b)$$

Puede observarse que resulta mayor el torque necesario para elevar la carga que para bajarla.

El paso de rosca se representa como p y se refiere a la distancia existente entre dos filetes consecutivos. En este caso en particular es igual al avance l , que se define como la distancia que es recorrida por un filete al efectuar una revolución.

Se denomina *velocidad de avance* a la rapidez con la que el husillo puede desplazar la carga linealmente. Se mide en mm/min y para el Dip Coater corresponde a las velocidades de inmersión y extracción.

Esta velocidad de avance se calcula mediante la relación del avance l :

$$A = l\omega \quad (17)$$

En donde:

ω = Velocidad angular o velocidad de giro.

$$l = 1 \frac{mm}{rev}$$

Como el rango de velocidades requerido va desde 1 a 20 mm/min, podemos describir la relación (17) en términos de dicho rango mínimo y máximo, ya que el paso es constante podremos determinar la velocidad de giro que requiere el sistema.

$$\omega_{min} = 1 \frac{rev}{min}; \omega_{m\acute{a}x} = 20 \frac{rev}{min} \quad (17a)$$

3.2.3.2. Motor

Al realizar el movimiento rotacional genera, por medio de un husillo, el desplazamiento vertical de un brazo que sostiene a los sustratos que se sumergirán en el sol. El motor se encuentra en la parte inferior del dispositivo.

Los requerimientos de velocidad de inmersión/extracción condicionan la selección del motor. Se generan las siguientes especificaciones que debe cumplir el mismo:

- ✎ Gran torque: ya que aunque los sustratos a sumergir son relativamente livianos la complejidad del mecanismo eleva un poco la fricción entre los componentes lo que se traduce en una carga para el motor como pudo observarse en los valores teóricos obtenidos en la sección 3.2.3.1.
- ✎ Bajo costo: porque la justificación del proyecto indica que la tecnología provista para el laboratorio ha de ser viable económicamente.
- ✎ Comportamiento lineal: para poder garantizar que la variación en la selección del usuario en los parámetros referentes a velocidad (inmersión/extracción) sean los correctos sin importar el aumento en el número de cargas (sustratos).

▪ Fácil acople: ya que el dispositivo requiere que las piezas se acoplen de manera rápida en un posible recambio. Es de anotar que el acople del motor se logra con un buje devanado en media caña que ingresa a una cavidad especial en el husillo. Este buje tiene incorporado un tornillo prisionero que permite su acoplamiento con el eje del motor.

Los motores DC son altamente utilizados [36] para este tipo de máquinas debido principalmente a los siguientes factores:

▪ Su velocidad de giro es fácilmente ajustable al variar la magnitud del voltaje que suministra la fuente de alimentación. La incorporación de una rutina en el microcontrolador que genere una señal PWM para un convertidor de potencia dc, permite controlar la velocidad de giro del motor.

▪ El sentido de rotación se logra al invertir la polaridad del voltaje suministrado al motor.

▪ Bajos efectos relacionados con los tirones ya que se comportan de manera casi lineal después de superado el voltaje de arranque o de inercia rotacional del sistema.

▪ Pueden realizarse frenados suaves sin requerir de aditamentos mecánicos que introduzcan desgaste o vibraciones en el accionamiento del motor.

▪ Estos motores suelen tener una rápida respuesta a los cambios de voltajes, esto debido a que su rotor es pequeño, en algunos casos estos motores vienen equipados con cajas reductoras que les permiten desarrollar velocidades de giro pequeñas pero con gran torque con consumos de corriente muy bajos [37].

Era necesario de esta manera seleccionar un motor que pudiese vencer la inercia rotacional del mecanismo central definido (ver sección 3.2.3.1).

Optando entonces por un tipo de motor DC, se procedió a buscar un motor que estuviese dentro del rango económico de adquisición, este motor fue provisto por el Taller de Física de la Universidad EAFIT.

El motor seleccionado registra un voltaje máximo de alimentación de 24.5 V.

La caracterización de éste se llevó a cabo con la adecuación de un montaje inicialmente en posicionamiento horizontal. Un eje acoplado al motor, una fuente de alimentación variable y unas pesas con masa y geometría definidas que simulaban la carga para el motor. Con ayuda de unas herraduras (emisor-receptor) alineadas pero opuestas (ver Figura 22) se midió el tiempo de cada revolución, lo que indicaba la velocidad angular del motor con distintas cargas. Por medio de un multímetro se registró la tensión de alimentación (comparada por la reportada por el display de la fuente de alimentación), la corriente de consumo del motor y la velocidad angular. Este procedimiento se llevó a cabo para determinar el voltaje de arranque del motor y las diferencias de consumo de corriente al aumento de la carga.

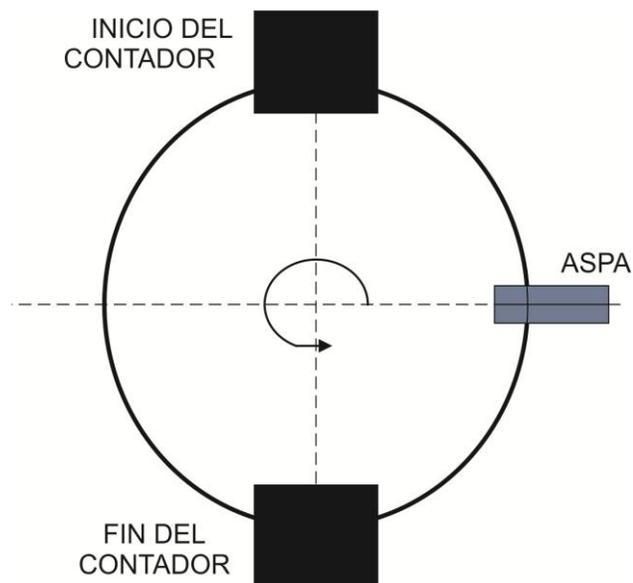


Figura 22. Arreglo de sensado para la caracterización del motor.

En condiciones sin carga se definieron incrementos de voltaje en pasos de 0,5 V desde 0 hasta 24,5 V, originando un total de 49 datos.

Las condiciones del experimento fueron una repetitividad de 3 veces por dato, es decir, se tomó 3 veces cada dato, y cada experimento se repitió 10 veces, por lo que para cada dato se extrajeron 300 valores. Se promedió dicho valor y se calculó el error respecto al promedio por cada condición.

Obedeciendo a:

$$Valor_{medio} = \frac{\sum_{i=1}^n valor_i}{n} \quad (18)$$

Y;

$$Error = \frac{\sum_{i=1}^n |valor_i - Valor_{medio}|}{n} \quad (19)$$

Que arrojó como resultado un error general de:

$$Error = 1,1571 \quad (20)$$

En la Tabla 4 se puede apreciar la forma como se tomaron en cuenta los valores y cómo se distribuyeron. En la columna “tiempo (ds)” se tomó el ponderado de los tres valores tomados para cada caso.

Número	Voltaje (V)	Corriente (A)	Tiempo (ds)	Tiempo (s) 1 Revolución	Velocidad RPM
1	0,5	0,016	0	0	0
2	1	0,029	0	0	0
3	1,5	0,037	0	0	0
4	2	0,053	0	0	0
5	2,5	0,029	373	74,6	0,804289544
6	3	0,031	250	50	1,2
7	3,5	0,031	188	37,6	1,595744681
8	4	0,032	155	31	1,935483871

9	4,5	0,032	133	26,6	2,255639098
10	5	0,035	112	22,4	2,678571429
11	5,5	0,035	95	19	3,157894737
12	6	0,036	86	17,2	3,488372093
13	6,5	0,036	77	15,4	3,896103896
14	7	0,036	72	14,4	4,166666667
15	7,5	0,038	65	13	4,615384615
16	8	0,039	60	12	5
17	8,5	0,041	55	11	5,454545455
18	9	0,042	52	10,4	5,769230769
19	9,5	0,042	48	9,6	6,25
20	10	0,043	46	9,2	6,52173913
21	10,5	0,042	43	8,6	6,976744186
22	11	0,043	41	8,2	7,317073171
23	11,5	0,044	39	7,8	7,692307692
24	12	0,044	37	7,4	8,108108108
25	12,5	0,044	36	7,2	8,333333333
26	13	0,044	34	6,8	8,823529412
27	13,5	0,045	32	6,4	9,375
28	14	0,045	32	6,4	9,375
29	14,5	0,045	30	6	10
30	15	0,045	29	5,8	10,34482759
31	15,5	0,045	28	5,6	10,71428571
32	16	0,045	28	5,6	10,71428571
33	16,5	0,045	27	5,4	11,11111111
34	17	0,045	26	5,2	11,53846154
35	17,5	0,045	25	5	12
36	18	0,045	24	4,8	12,5
37	18,5	0,045	23	4,6	13,04347826
38	19	0,045	23	4,6	13,04347826
39	19,5	0,045	22	4,4	13,63636364
40	20	0,045	22	4,4	13,63636364
41	20,5	0,045	21	4,2	14,28571429
42	21	0,045	20	4	15
43	21,5	0,046	19	3,8	15,78947368
44	22	0,046	19	3,8	15,78947368

45	22,5	0,046	18	3,6	16,66666667
46	23	0,046	17	3,4	17,64705882
47	23,5	0,046	16	3,2	18,75
48	24	0,046	16	3,2	18,75
49	24,5	0,047	15	3	20

Tabla 4. Valores obtenidos experimentalmente para el motor sin carga.

Puede observarse que en el valor de 2,5 V se inicia el movimiento del motor, es decir, este es el voltaje mínimo para vencer la inercia rotacional del motor, una vez superado este voltaje, el comportamiento de la velocidad angular respecto al voltaje de alimentación del motor es casi lineal como se observa en la Figura 23.

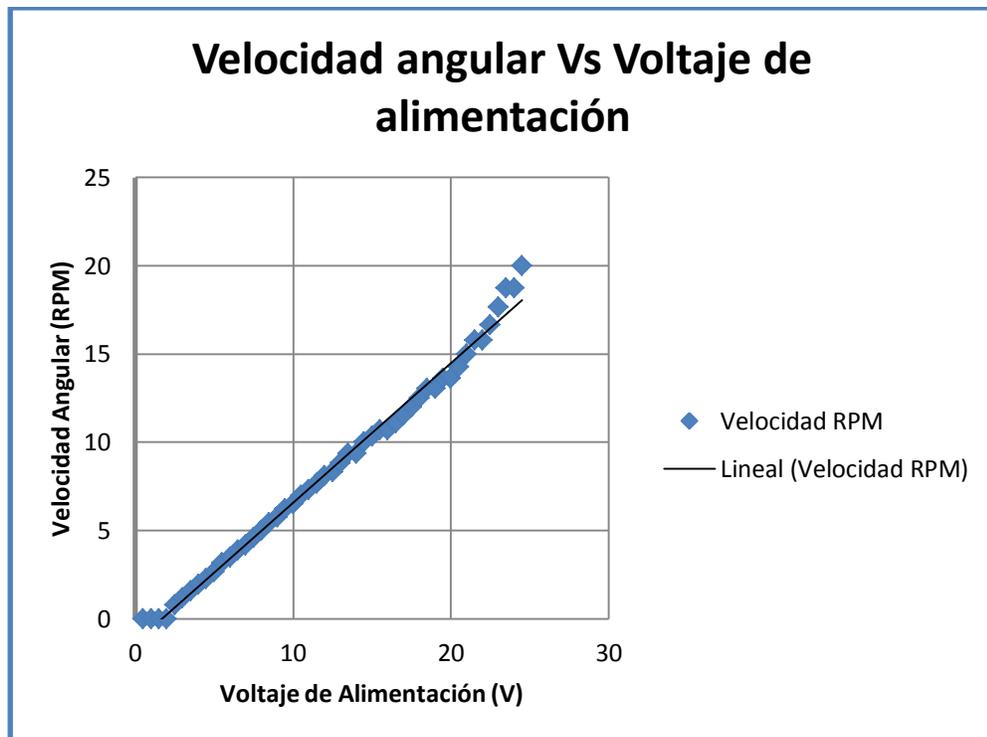


Figura 23. Relación de Velocidad angular Vs Voltaje de alimentación.

La relación para la intensidad de corriente y el voltaje de alimentación del motor puede apreciarse en la Figura 24. Se observa en el gráfico un comportamiento de incremento de demanda inicial (un pico) para el inicio del movimiento de rotación del eje del motor, esto es de esperarse ya que mientras se vence la inercia de rotación habrá un sobresalto en la demanda de la corriente, una vez superado este valor, la corriente vuelve a descender y comienza a incrementarse de nuevo paulatinamente tendiendo a estabilizarse.

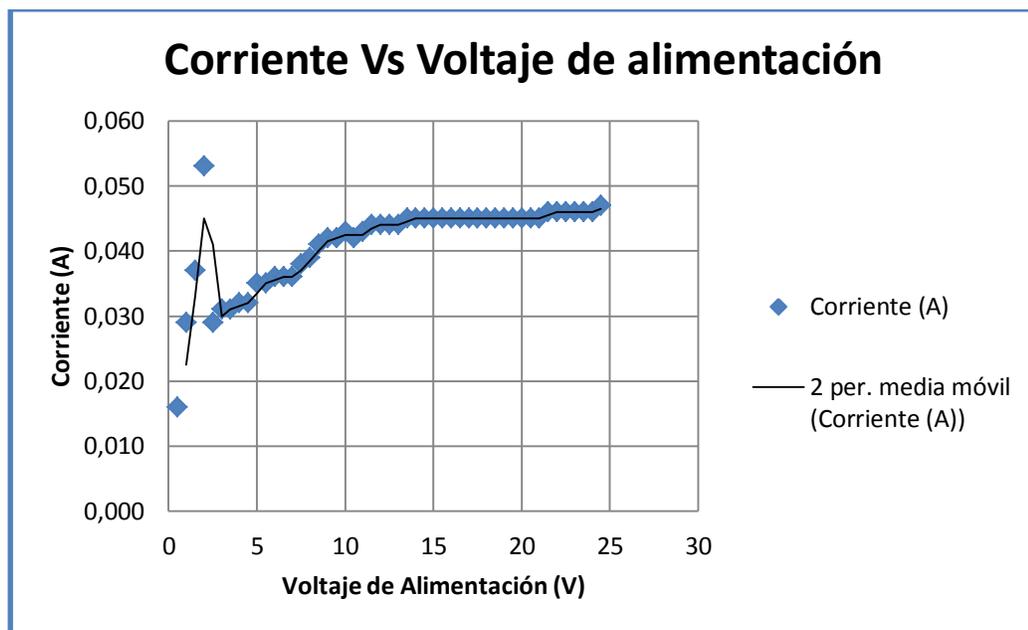


Figura 24. Relación de Corriente Vs Voltaje de alimentación.

Luego se dispuso de unas cargas que simulaban el mecanismo a mover en el reactor de recubrimiento por inmersión, la ubicación de éstas se distribuyó a lo largo del eje sujetado al motor como lo ilustra la Figura 25.

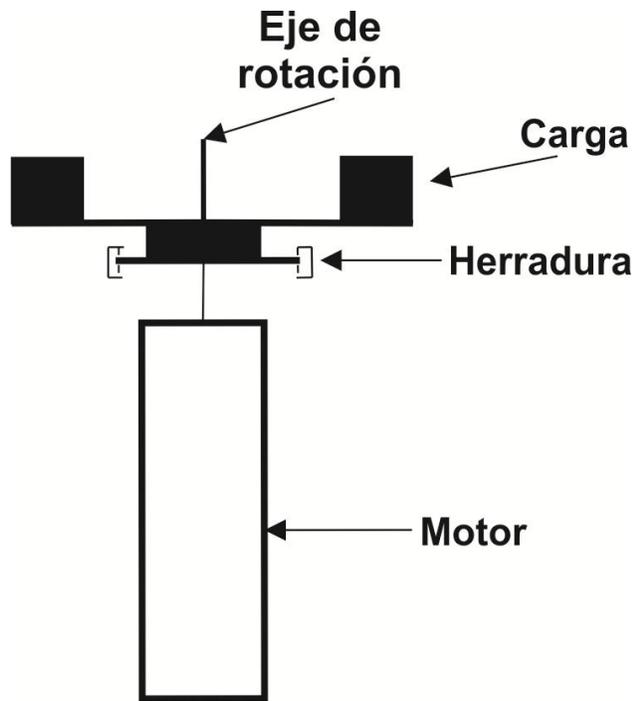


Figura 25. Ubicación de las cargas sobre el motor.

El mismo procedimiento estadístico fue aplicado con cargas de 50 g, 100 g, 200 g, 400 g, 500 g y 1000 g.

Se simuló la condición máxima de carga con la ubicación de un arreglo de cilindros y discos de masa total 1000 g (un cilindro de 500 g, dos discos de 200 g cada uno y 1 disco de 100g) con radios de 75 mm de modo tal que se obtuviera un momento de inercia similar al del mecanismo central.

El momento de inercia calculado I_L para este experimento fue de:

$$I_L = 2,81 \times 10^{-3} \text{kgm}^2 \quad (21)$$

De modo tal que satisfaciendo la carga de este montaje se podría también satisfacer la carga del mecanismo central ya, que la inercia rotacional de este sistema es mayor que la del mecanismo. Los resultados de la aplicación

experimental del método descrito para las condiciones de giro con carga, se pueden apreciar en la Tabla 5.

Número	Voltaje (V)	Corriente (A)	Tiempo (ds)	Tiempo (s) 1 Revolución	Velocidad RPM
1	0,5	0,016	0	0	0
2	1	0,029	0	0	0
3	1,5	0,037	0	0	0
4	2	0,053	0	0	0
5	2,5	0,057	0	0	0
6	3	0,059	0	0	0
7	3,5	0,062	0	0	0
8	4	0,042	380	76	0,789473684
9	4,5	0,042	276	55,2	1,086956522
10	5	0,045	213	42,6	1,408450704
11	5,5	0,045	170	34	1,764705882
12	6	0,046	123	24,6	2,43902439
13	6,5	0,046	98	19,6	3,06122449
14	7	0,046	86	17,2	3,488372093
15	7,5	0,048	77	15,4	3,896103896
16	8	0,049	69	13,8	4,347826087
17	8,5	0,051	59	11,8	5,084745763
18	9	0,054	53	10,6	5,660377358
19	9,5	0,054	50	10	6
20	10	0,055	47	9,4	6,382978723
21	10,5	0,054	45	9	6,666666667
22	11	0,055	43	8,6	6,976744186
23	11,5	0,056	41	8,2	7,317073171
24	12	0,056	39	7,8	7,692307692
25	12,5	0,056	37	7,4	8,108108108
26	13	0,056	35	7	8,571428571
27	13,5	0,057	33	6,6	9,090909091
28	14	0,057	32	6,4	9,375
29	14,5	0,057	31	6,2	9,677419355
30	15	0,057	29	5,8	10,34482759
31	15,5	0,057	27	5,4	11,11111111

32	16	0,057	26	5,2	11,53846154
33	16,5	0,058	25	5	12
34	17	0,058	24	4,8	12,5
35	17,5	0,059	23	4,6	13,04347826
36	18	0,059	22	4,4	13,63636364
37	18,5	0,059	21	4,2	14,28571429
38	19	0,059	21	4,2	14,28571429
39	19,5	0,059	21	4,2	14,28571429
40	20	0,060	20	4	15
41	20,5	0,060	20	4	15
42	21	0,060	20	4	15
43	21,5	0,062	19	3,8	15,78947368
44	22	0,062	19	3,8	15,78947368
45	22,5	0,062	18	3,6	16,66666667
46	23	0,065	18	3,6	16,66666667
47	23,5	0,065	17	3,4	17,64705882
48	24	0,065	17	3,4	17,64705882
49	24,5	0,065	16	3,2	18,75

Tabla 5. Valores obtenidos experimentalmente para el motor con una carga de 1 kg.

Puede anotarse que cuando se imponen condiciones de carga, el voltaje mínimo de arranque se eleva hasta 4 V, después de alcanzar este voltaje nuevamente la relación entre la velocidad de giro del motor y el voltaje es casi lineal, esto se observa en la Figura 26, además, se presenta un incremento en el consumo de la corriente aunque en realidad es muy pequeño, ver Figura 27.

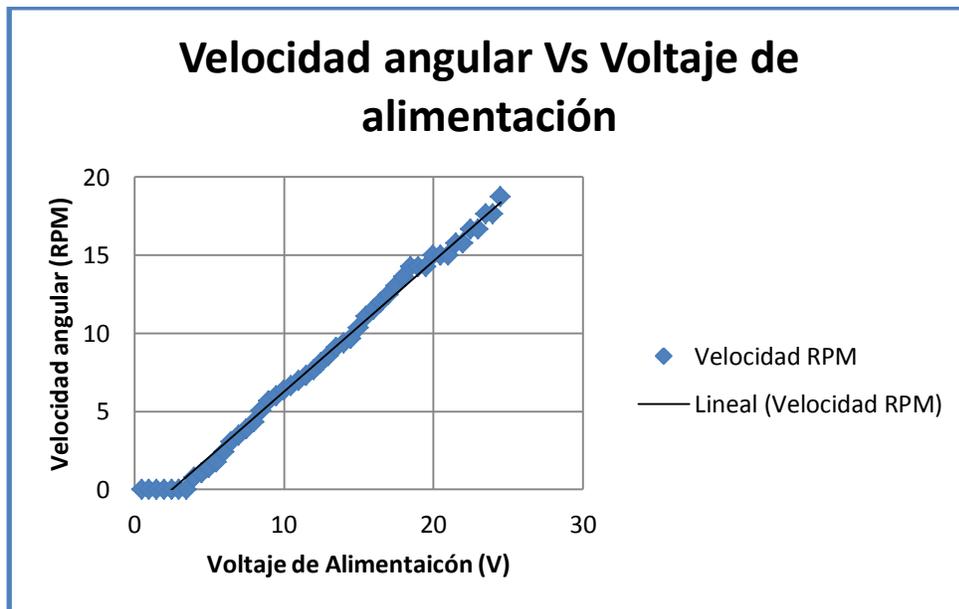


Figura 26. Relación de Velocidad angular Vs Voltaje de alimentación en condiciones de carga máxima.

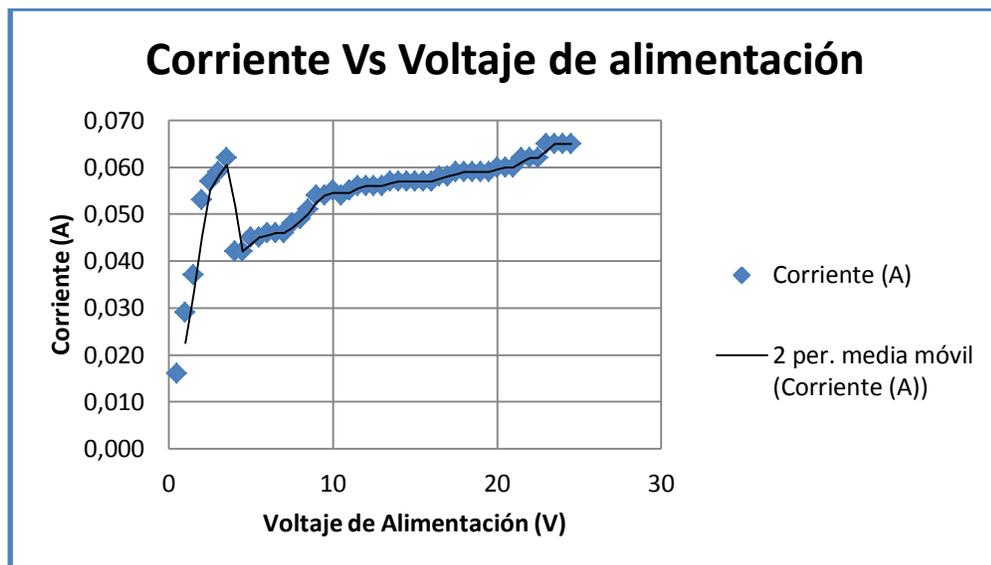


Figura 27. Relación de Corriente Vs Voltaje de alimentación en condiciones de carga máxima.

Por último, se recurre a la relación de la potencia eléctrica del motor:

$$P = i * V \quad (22)$$

Donde i corresponde a la intensidad de corriente que demanda el motor y V el potencial aplicado [38].

En las condiciones de carga máxima, que es la que supone la condición crítica de operación, la expresión (22) tomaría la forma:

$$P_{Lmáx} = i_{Lmáx} * V_{Lmáx} \quad (22a)$$

Lo que resulta en:

$$P_{Lmáx} = 0,065A * 24,5V \quad (22b)$$

$$P_{Lmáx} = 1,59 W \quad (22c)$$

La relación entre la potencia y el torque nominal T_N viene dada por muestra

$$P_{Lmáx} = T_N * \omega_{Lmáx} \quad (23)$$

En donde:

$$\omega_{Lmáx} = 18,75 RPM \equiv 0,3125 \frac{rev}{s}$$

Despejando el torque nominal T_N :

$$T_N = \frac{\omega_{Lmáx}}{P} \quad (24)$$

De lo cual se obtiene:

$$T_N = \frac{0,3125 \frac{rev}{s}}{1,59 W} = 1,96x10^{-1} Nm \quad (24a)$$

Ya que el torque nominal determinado para el motor es mayor al necesario para subir y bajar la carga (expresiones 15b y 16b) se puede escribir la siguiente relación:

$$T_N > T_{TE} > T_{TB} \quad (25)$$

Con lo que se concluye que el motor seleccionado es adecuado para el mecanismo principal implementado en el dispositivo.

3.2.3.3. Sensores

En el funcionamiento del dispositivo es necesario supervisar tres variables:

- ▣ La rapidez de giro del motor que está directamente relacionada con el desplazamiento del brazo del mecanismo central y por ende, de la velocidad de desplazamiento de los sustratos (velocidad de inmersión y extracción de los sustratos).
- ▣ La posición inicial y final del sustrato en relación al contenedor del sol, es decir, la posición del fin de carrera.
- ▣ El tiempo que supone la inmersión y el retardo entre ciclos.

Para hacer posible la supervisión de estas variables se definieron los siguientes sensores:

- ▣ **Encoder:** compuesto de una circunferencia fabricada de un material traslúcido con una impresión transparente y negra de tipo cebra y un acople de tipo herradura, es decir, un par emisor receptor que recibe pulsos de acuerdo con la velocidad de giro de la circunferencia que gira en solidario con el eje del motor. Los criterios de selección para este sistema fueron:

- Simplicidad de montaje: ya que mientras más sofisticado que éste fuese se incrementaría su valor económico y el tiempo de montaje.
- Bajo costo: debido a que la principal inversión del proyecto se realizó en el maquinado de la pieza principal del mecanismo central, fue necesario implementar soluciones de bajo costo pero que garantizaran el funcionamiento correcto del dispositivo.

Herradura: este sistema es utilizado para determinar el fin de carrera del sustrato. Compuesto de una herradura (par emisor receptor) y un elemento que se desplaza conjuntamente con el mecanismo central. Este elemento obstruye la recepción del haz infrarrojo dando como resultado la información de que el dispositivo alcanzó el fin de carrera. Los criterios de selección para este caso:

- Bajo costo: era necesario implementar tecnologías de bajo costo en todo el dispositivo ya que justamente por este motivo, es deseable el desarrollo del proyecto para facilidad de recambio de elementos de funcionamiento. Por otro lado, la principal inversión del sistema se realizó en el mecanismo central que garantizara la linealidad del movimiento del brazo.
- Eliminación de vibraciones no deseadas: al utilizar sistemas como los micro-interruptores de accionamiento mecánico (microswitches) se podrían introducir vibraciones al brazo, ya que éste debía accionar el sistema mecánico del interruptor produciéndose una fuerza de reacción que podría desestabilizar el desplazamiento lineal del sustrato.
- Simplicidad de implementación, manejo y recambio: principalmente porque el concepto del proyecto es entregar una tecnología que sea viable económicamente con posibilidades de recambio sencillas de adquirir en el mercado, fáciles de utilizar, de reproducir y de bajo costo.
- Para determinar la posición inicial se optó por utilizar un microswitch ya que cuando el sustrato no está sumergido, la vibración producida por el

accionamiento mecánico del microswitch es despreciable. Esto se comprobó en otro dispositivo piloto instalado en el Laboratorio de Instrumentación y Espectroscopía de la Universidad EAFIT.

El tiempo es contabilizado dentro del microcontrolador por lo que no requiere de un mecanismo de sensado específico.

3.2.3.4. Tapas seccionadoras

Conceden apoyo a los rodamientos en los que descansa el mecanismo central, están fabricadas en resina polistérica de referencia VitelMAT 740 TEX 4400 con alma de OXDF113M. Están recubiertas de un anticorrosivo laminar de referencia PP0117. También permiten mantener en su posición el eje liso que sirve para otorgar linealidad al movimiento del brazo. En la tapa seccionadora inferior descansa el contenedor del sol. La tapa superior sirve de soporte a algunos de los circuitos electrónicos del reactor. En la Figura 28 se observan dichas piezas.

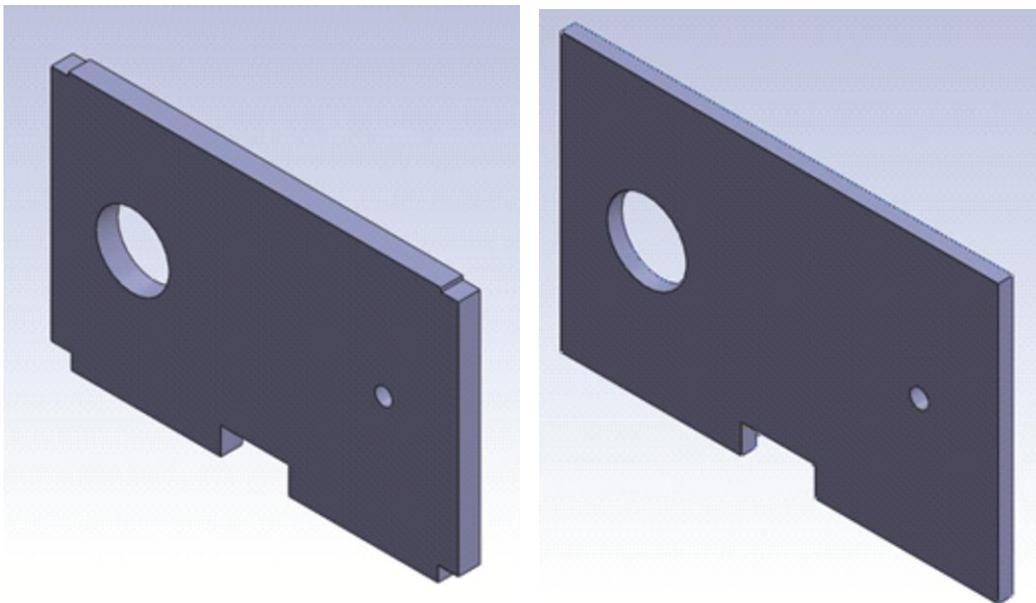


Figura 28. Tapas seccionadoras Inferior y Superior.

3.2.3.5. Base estructural

Constituye el esqueleto del dispositivo, está fabricada en perfiles cuadrados de acero Cold Rolled de calibre 16 y lámina de acero galvanizado de calibres 16 y 18, además está firmemente soldada con soldadura tipo MIG. Recubierta con una capa de base anticorrosiva y otra de pintura aplicada electrostáticamente. Soporta todos los componentes del dispositivo. A su vez, descansa en unos pines roscados giratorios con topes de caucho graduables que permiten la variación de la inclinación de la máquina y absorben vibraciones (ver Figura 29).



Figura 29 De izquierda a derecha. Base construida con perfiles estructurales cuadrados Cold Rolled. Base con adición de elementos estructurales fabricados en lámina de acero. Descripción de la ubicación de los pines roscados.

3.2.3.6. Tapas laterales

Están fabricadas de policarbonato traslúcido de 5 mm de espesor, que permite visualizar el proceso de recubrimiento por inmersión. Poseen además 2 boquillas o racores que sirven de entrada para crear atmósferas gaseosas dentro de la

cámara de inmersión y una salida en la parte superior con una llave de tipo de registro de bola para la liberación de los gases ver Figura 30.

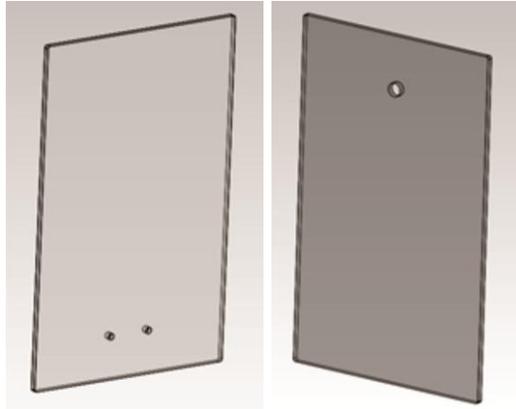


Figura 30. Tapas traslúcidas lateral izquierda y derecha.

3.2.3.7. Display, teclado, LEDS y alarma

Posibilitan la interacción del usuario con el dispositivo. Su uso es necesario para iniciar el procedimiento, ya que en el teclado se digitan los valores de las variables de entrada del proceso. En el display se pueden corroborar los datos ingresados, los LEDS y las alarmas indican la operación, el fin de proceso y en caso de presentarse algún problema de funcionamiento se activa una alarma que lo indica.

3.2.3.8. Contenedor

Es un depósito en el cual se almacena el sol a la espera de los sustratos, está fabricado de resina polistérica de referencia P20. Sus dimensiones son 80x35x50 mm de largo, ancho y alto. El contenedor tiene el aspecto que se muestra en la Figura 31.

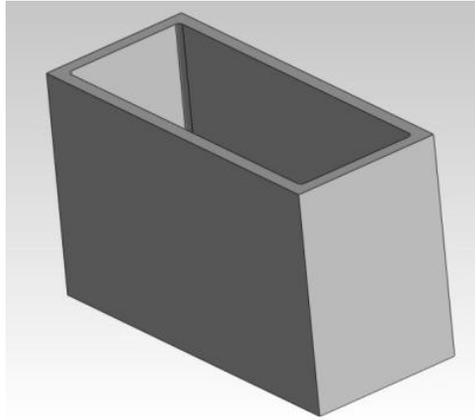


Figura 31. Contenedor rectangular.

3.3. Etapa 3. Construcción, sub-ensamblaje y ensamblaje.

Este proceso concierne lo referente a la adquisición y/o fabricación de todas las piezas y elementos que se definieron en el diseño conceptual.

3.3.1.1. Mecanismo central

Este mecanismo fue diseñado específicamente para cumplir las características necesarias del proyecto. Con el motivo de satisfacer el rango de velocidades de avance se diseñó una rosca cuadrada recta (sin ángulo de rosca) con un paso de 1 mm. Esta pieza fue fabricada en Nylon autolubricado para disminuir los efectos de fricción. El husillo tiene un alma de acero recubierto con una capa de un polímero anticorrosivo. Esta pieza fue fabricada por la empresa Polytech S.A.S. Los rodamientos seleccionados para el dispositivo son de referencia 6006LU JAPAN del fabricante de rodamientos para aplicaciones industriales NTN Inc. El aspecto real del mecanismo central puede ser observado en la Figura 32.



Figura 32. Mecanismo central fabricado en nylon autolubricado.

Pensando en las labores de mantenimiento preventivo y correctivo, y en caso de ser necesario un recambio de las piezas, haciendo énfasis en aquéllas que están expuestas a mayor desgaste como el buje roscado y el husillo, se diseñó la pieza de manera tal que sea posible removerse por partes.

El husillo o tornillo central puede removerse en su collarín superior (que ajusta con el rodamiento) mediante el uso de una llave de tipo hexagonal de referencia AC 27. Desprendiendo este aditamento, puede extraerse la pieza correspondiente al “sujetador 1” de la Figura 35. El sujetador 1 está conformado por un buje roscado en su interior que es el que interactúa mecánicamente con el husillo, este buje está soldado a un perfil extruido que se extiende en forma perpendicular al buje (ver Figura 33). El sujetador 1 y el sujetador 2 se encuentran unidos mecánicamente por la presión que generan las tapas seccionadoras en la alineación del eje guía y por unos tornillos plásticos que se encuentran en la parte frontal. El sujetador 2 corresponde a un perfil rectangular soldado con un buje por el cual pasa el eje guía (ver Figura 34).

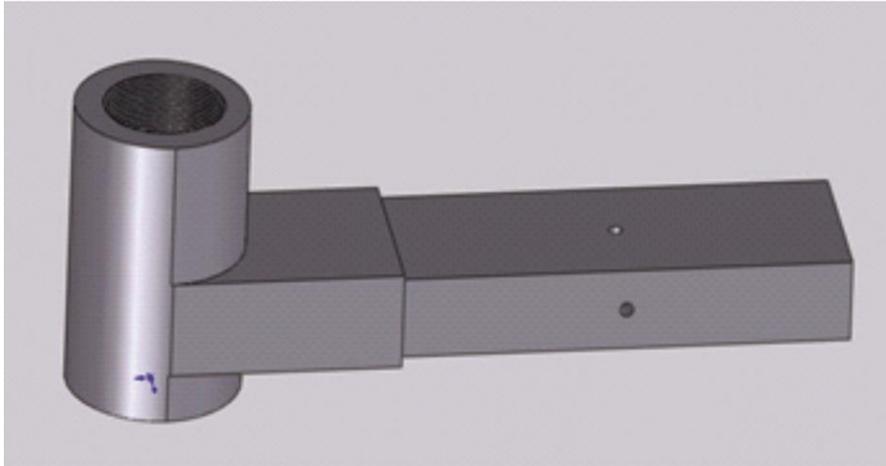


Figura 33. Sujetador 1 que consta de un buje roscado unido a un perfil rectangular.

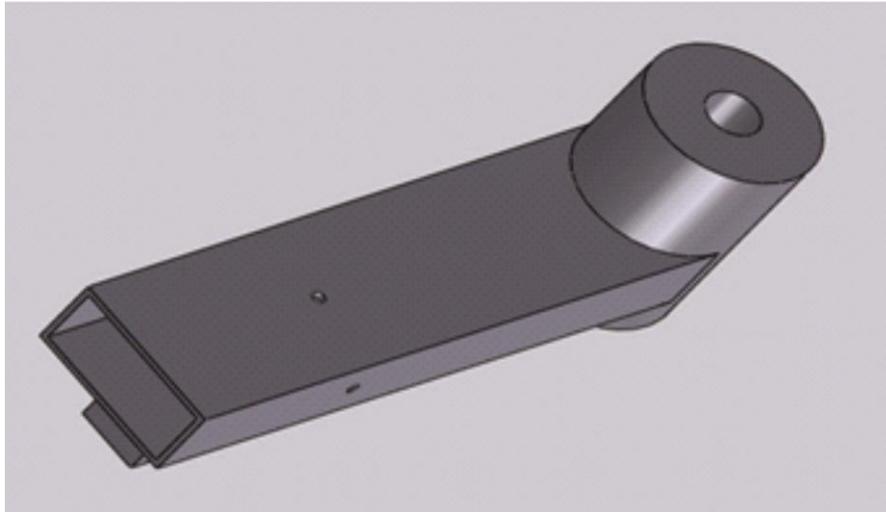


Figura 34. Sujetador 2. Perfil rectangular soldado a un buje del eje guía.

En la Figura 35 se aprecia el sujetador 2 en su posición final de trabajo con respecto al eje guía. En la Figura 36 se muestran los sujetadores reales separados.

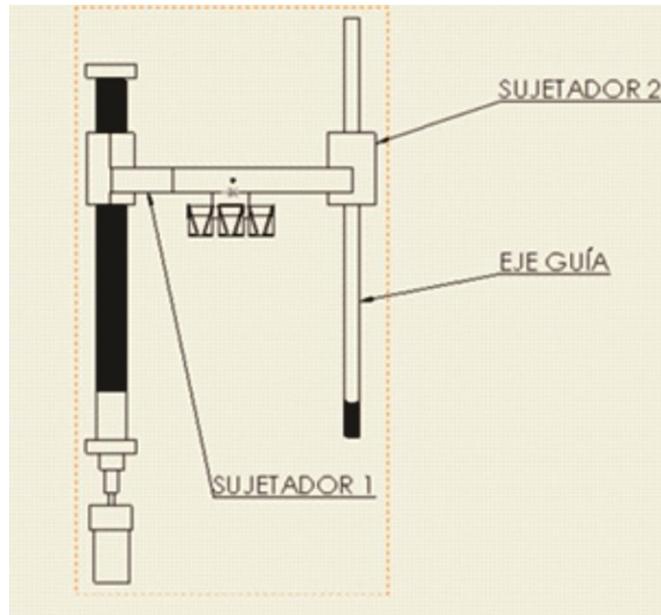


Figura 35. Descripción del montaje por piezas del mecanismo central.

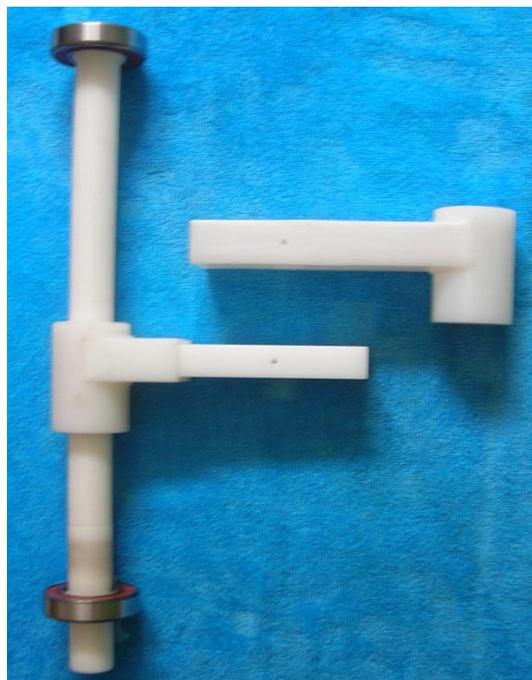


Figura 36. Despiece del mecanismo de sujetadores.

3.3.1.2. Electrónica General

El esquema general del hardware del reactor se describe en la Figura 37, en ella pueden apreciarse cada uno de los componentes implementados en el dispositivo. Las líneas de color rojo indican la alimentación positiva, las líneas de color azul representan la señal del PWM proveniente del microcontrolador, las líneas de color violeta representan la señal de dirección (DIR) de giro del motor. La línea de color verde indica la señal de referencia de comparación para los sensores. Esta señal corresponde a 4.7 V.

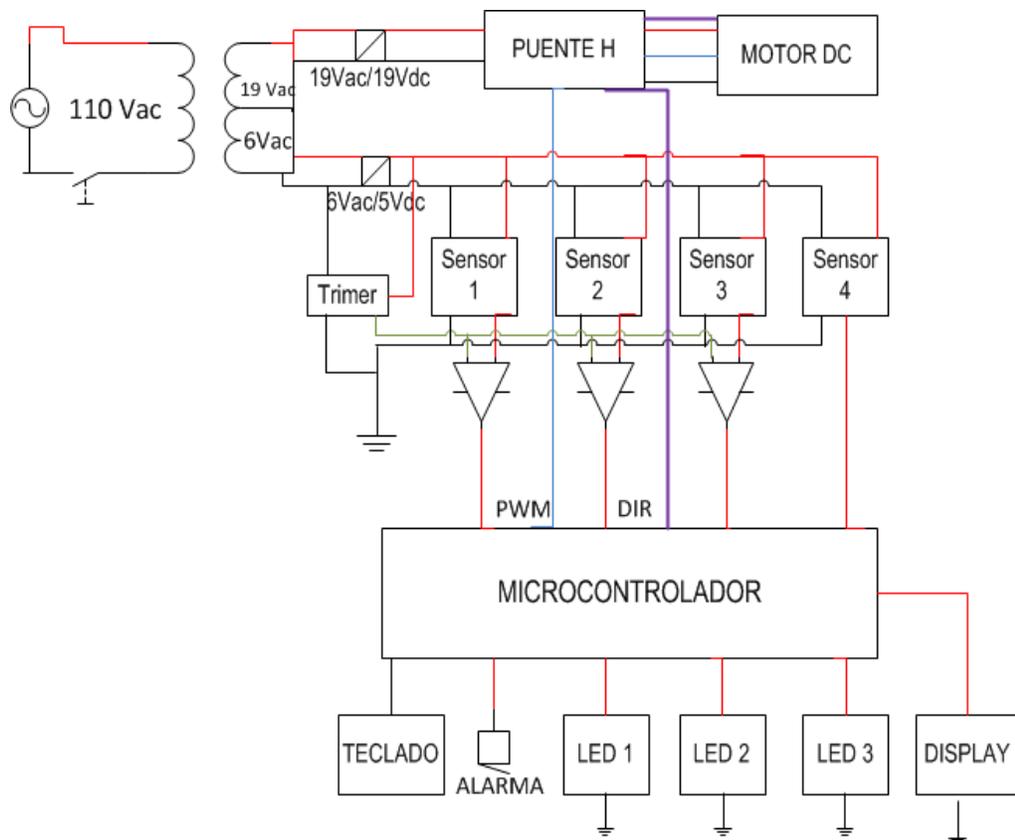


Figura 37. Diagrama general electrónico del reactor.

Se desarrolló para la alimentación eléctrica del sistema una fuente de potencia compuesta de un transformador AC 110 V con dos salidas de 19 V AC (positivo y

negativo) y 6 V AC. Una tarjeta integrada con una salida de 19 V DC para alimentación del motor y otra con una salida de 5V DC para alimentación de los sistemas que operan con este voltaje como el microcontrolador, los sensores (par emisor-receptor infrarrojo) y demás.

3.3.1.2.1. Motor

Está fijo mediante un soporte metálico en forma de omega, que lo aloja a la altura adecuada para su acople al mecanismo central. Su alimentación está provista de una fuente de 19V DC que se acopla a un puente H para invertir su giro y traducir la señal de PWM proveniente del microcontrolador. La rapidez de giro es medida por medio del encoder.

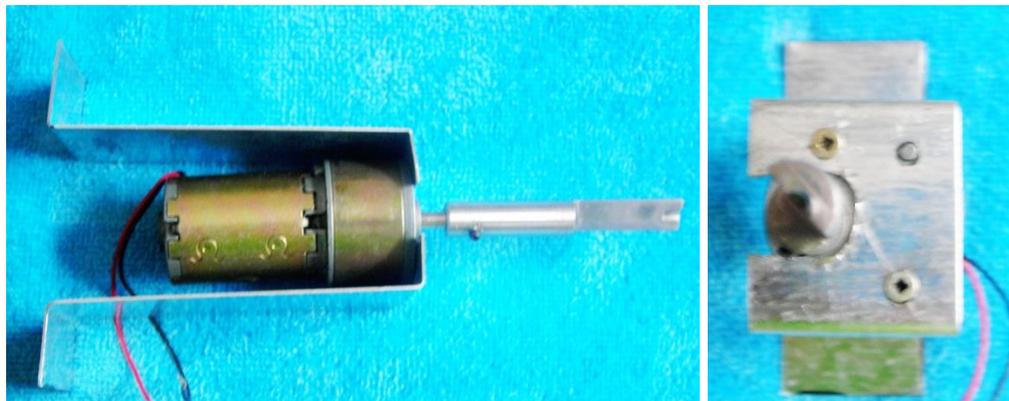


Figura 38. Motor dentro de la carcasa de fijación.

3.3.1.2.2. Microcontrolador, sensores, display, teclado, LEDS y alarma

El microcontrolador implementado tiene referencia PIC16F886, ya que ofrece la posibilidad de 3 puertos configurables. La configuración de puertos se declaró como se describe en la Tabla 6.

TERMINAL	TIPO	SEÑAL
A0	I	Sensor 2
A1	I	Sensor 1
B0	I	E (Display)
B1	I/O	A(Teclado)/RS
B2	I/O	B(Teclado)/RW
B3	I	C(Teclado)
B4	I/O	D(Teclado)/D4
B5	I/O	1(Teclado)/D5
B6	I/O	2(Teclado)/D6
B7	I/O	3(Teclado)/D7
C0	I	Encoder (Sensor 3)
C1	O	DIR (Cambio de giro del motor)
C2	O	PWM para el motor
C3	O	LED Verde
C4	O	LED Amarillo
C5	O	LED Rojo
C6	O	Alarma auditiva
C7	I	Micro interruptor

Tabla 6. Definición de puertos en el microcontrolador PIC 16F886

En la Figura 39 se muestra el esquema de la rutina implementada en el microcontrolador del reactor. El procedimiento inicia con la adquisición de datos suministrados por el usuario, estos datos son corroborados con los rangos permitidos de operación para cada variable, seguidamente el mecanismo se posiciona para iniciar el ciclo de inmersión y éste se ejecuta cuantas veces haya sido indicado por el usuario en la variable “N”.

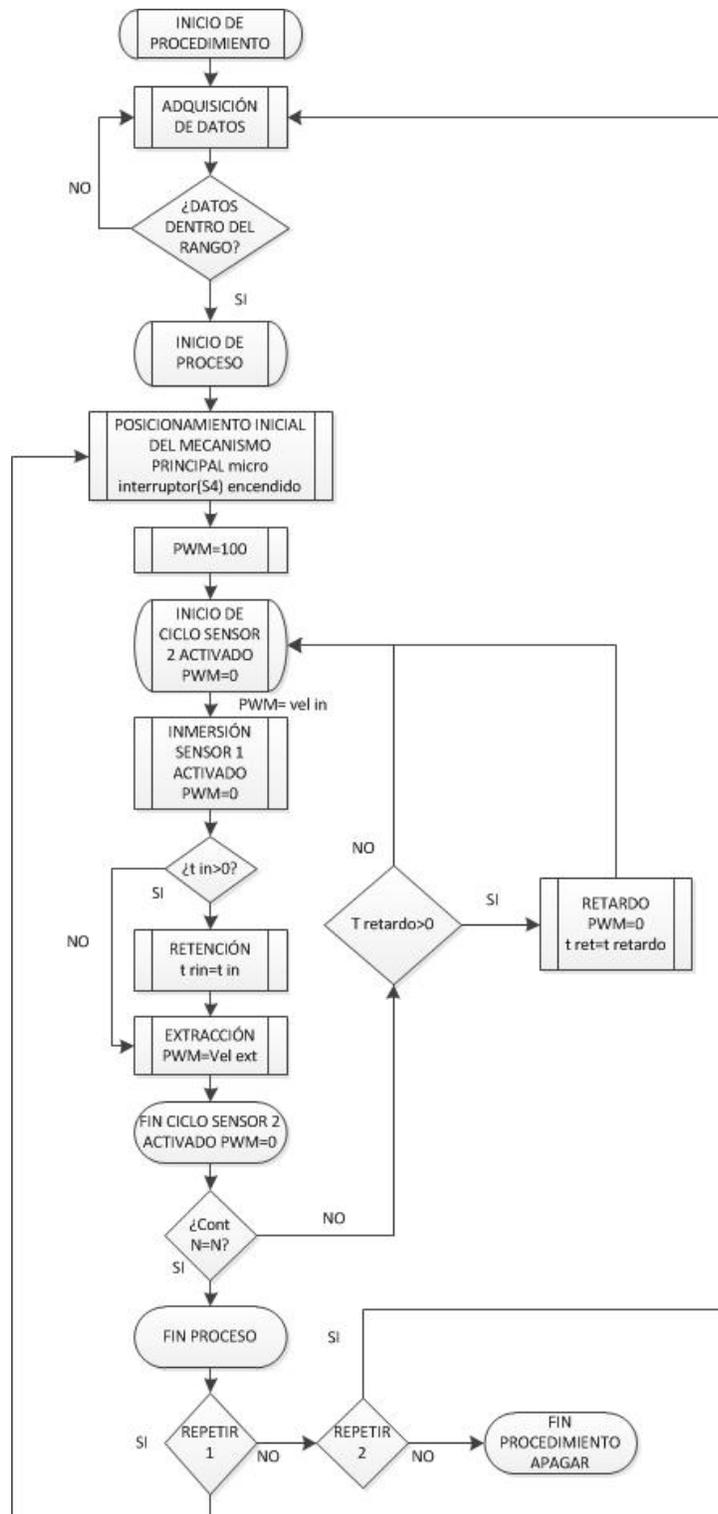


Figura 39. Diagrama de bloques de la rutina incorporada en el microcontrolador.

Los sensores implementados son de dos tipos:

- ✎ Los sensores 1, 2 y 3 son pares emisor-receptor activados en forma de obstrucción. El sensor 1 determina el fin de carrera, el sensor 2 el inicio de carrera (y por ende fin de ciclo al terminar cada ciclo) y el sensor 3 notifica la velocidad del motor por medio de una adecuación ENCODER. Los sensores de tipo emisor-receptor generan una señal variable en el tiempo en función de la obstrucción percibida, por tal motivo se compara la señal proveniente de estos sensores con una señal de referencia de 4.7 V. Una vez superado en magnitud el valor de la señal de referencia por parte de la señal proveniente del sensor, se notifica de la activación del mismo. El sensor que informa el inicio de carrera (sensor 2) puede variarse mediante el retiro de un tornillo.
- ✎ El sensor 4 que indica el tope máximo de uso del husillo o fin de procedimiento, es un micro interruptor que se activa mecánicamente por un pulso del brazo del reactor.

La comparación de velocidades entre la programada y la medida tiene una tolerancia de 0.4 mm/min, lo que indica que la alarma se activará si se está por debajo o por encima 0.4 mm/min del valor nominal asignado por el usuario.

El display LCD y el teclado están fijados con resina epóxica. Fueron suministrados por el Laboratorio de física aplicada de la Universidad EAFIT y se muestran en la Figura 40.

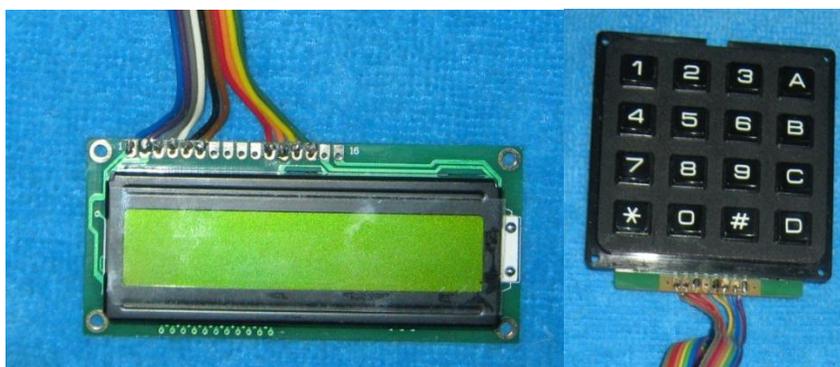


Figura 40. Display LCD y teclado 4x4 instalados en el dispositivo.

3.3.1.3. Producto final

El reactor presenta un ajuste mecánico tal que le permite realizar los movimientos característicos del procedimiento de manera suave. La implementación del nivel y los pines roscados le permiten adaptarse muy fácilmente a superficies ligeramente desniveladas. Los materiales en los que se encuentra fabricado el reactor son de gran resistencia mecánica y química. El dispositivo permite visualizar el procedimiento de recubrimiento por inmersión debido a que posee más del 65 % de su superficie plana en material traslúcido. Posee además en una de las tapas laterales unos racores que permiten la entrada de gases para operar atmósferas controladas. Para el funcionamiento del reactor sólo se requiere un cable de alimentación. Todas las puertas funcionales y de inspección del dispositivo poseen cierres magnéticos. Las dimensiones finales del reactor son de 310 mm de ancho (medidos en su parte central más ancha), 690 mm de altura, aunque esta longitud puede variar por acción de los pines roscados y 190 mm de profundidad. El aspecto del reactor puede observarse en la Figura 41.



Figura 41. Aspecto del Dip Coater 136. Arriba izquierda: Vista frontal, Arriba derecha: Vista lateral izquierda, Abajo: Vista frontal con tapa inferior abierta con el cable de alimentación necesario.

El mecanismo de sujeción es fácilmente manipulable, liviano y muy funcional, consta de unos ganchos que permiten la sujeción e inmersión de tres sustratos simultáneamente (ver Figura 42).

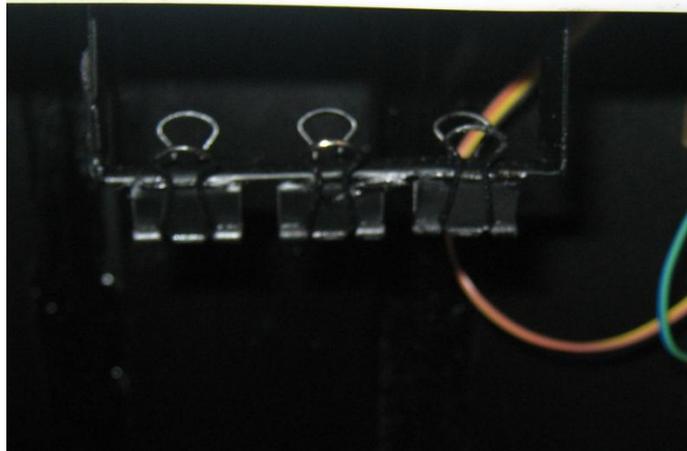


Figura 42. Ganchos sujetadores de sustratos.

3.4. Etapa 4. Documentación del dispositivo.

La documentación desarrollada alrededor del dispositivo consiste en un manual de usuario “Manual de uso Dip Coater 136” y un documento de especificaciones técnicas “Ficha Técnica de Especificaciones Dip Coater 136”.

4. CONCLUSIONES

Se diseñó y fabricó un dispositivo dedicado a la depositación de películas delgadas por la técnica de recubrimiento por inmersión o dip coating para uso en el Laboratorio de Instrumentación y Espectroscopía de la Universidad EAFIT. El sistema tiene características que lo potencian como herramienta de investigación, tales como una cámara de depositación cerrada con posibilidad de ingresar gases para crear atmósferas especiales durante el procedimiento de recubrimiento por inmersión, un mecanismo para visualizar el nivel del reactor y nivelarlo en caso de ser necesario, este mecanismo al mismo tiempo le otorga soporte y ayuda a aislar las vibraciones del espacio de trabajo. Cabe destacar que estas características no son comunes en los reactores de recubrimiento por inmersión comerciales.

El dispositivo cuenta con características que lo hacen competitivo con los reactores comerciales porque, entre otras funcionalidades, permite programar la velocidad de inmersión, la velocidad de extracción (en algunos casos se requieren diferentes velocidades, una de inmersión y otra de extracción, es frecuente encontrar que los dispositivos comerciales toman el mismo valor para las dos velocidades), el tiempo de inmersión, el número de ciclos y el tiempo de retardo entre ciclos.

El dispositivo cuenta con tres señales visuales y una auditiva además de una pantalla LCD que notifica el estado del procedimiento. Las señales visuales son tres LEDs, uno para indicar que la medida de velocidad de giro del motor no corresponde con la programada, está acompañado de una alarma sonora. Otro indica el fin de proceso, es decir, cuando el número de ciclos de inmersión se haya alcanzado, está acompañado de una alarma sonora. El tercer LED se enciende cuando el aparato se encuentra ejecutando un proceso.

Los elementos utilizados en el dispositivo, especialmente en la cámara de reacción tienen buena resistencia química para evitar su deterioro al estar expuestos a atmósferas gaseosas. La utilización de nylon autolubricado para el mecanismo central asegura la suavidad y uniformidad del movimiento de inmersión y extracción.

Los mecanismos desarrollados para esta máquina fueron fabricados localmente, asimismo, todos los componentes implementados fueron adquiridos en el mercado local, esto sumado a la generación exhaustiva de planimetría referenciada permite una reproducibilidad eficiente de este dispositivo.

Este trabajo constituye una importante herramienta para el fortalecimiento de la infraestructura del Laboratorio de Instrumentación y Espectroscopía de la Universidad EAFIT ya que posibilita el crecimiento de las actividades de investigación y docencia relacionadas con el tema de los nuevos materiales.

Para aumentar el rango de operación de velocidades del dispositivo es necesario implementar un motor que permita, bajo las condiciones de operación del DC 136, una mayor rapidez angular ya que el utilizado sólo alcanzó un máximo de 21 RPM con el máximo de carga lo que se traduce en una velocidad máxima de desplazamiento de aproximadamente 20 mm/min en el sustrato.

5. REFERENCIAS

- [1] F. Canul-Vargas, O. Solís Canto y P. Quintana A. I. Oliva, "PELÍCULAS DELGADAS METÁLICAS USADAS COMO SENSORES DE MEDICIÓN," Mérida, Yucatán, 2003.
- [2] W. Zhong, H.Y. Jiang, X.L. Wu, W. Liu, Y.W. Du N.J. Tang, "Nanostructured magnetite (Fe₃O₄) thin films prepared by sol-gel method," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. Vol. 282, pp. 92-95, 2004.
- [3] C.A. Litzler Co., Inc. M&CT Molding & Coating Technologies. [Online].
<http://www.dipmolding.com/pages/dipcoatingapps.html>
- [4] Precision Dip Coating. (2010) Precision Dip Coating. [Online].
<http://precisiondipcoating.com/industries-2/>
- [5] Zhengzhou Yutong Group Co., Ltd. (2010) The application of DÜRR electrocoating process guarantees a long lasting beauty of buses. [Online].
<http://www.yutong.com/english/products/technology/index.shtml>
- [6] Yolanda Castro Martín, "Inmersión-deposición a partir de soluciones," in *RECUBRIMIENTOS PROTECTORES OBTENIDOS POR DEPOSICIÓN ELECTROFORÉTICA (EPD) A PARTIR DE SUSPENSIONES SOL-GEL*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid-Facultad de Ciencias-Instituto de Cerámica y Vidrio (CSIC), 2003, pp. 31-33.
- [7] Donald Leonard Smith, "Thin-film technology," in *Thin-film deposition: principles and practice*. New York: McGraw-Hill, 1995, pp. 1-5.
- [8] Yolanda Castro Martín, "RECUBRIMIENTOS PROTECTORES," in *RECUBRIMIENTOS PROTECTORES OBTENIDOS POR DEPOSICIÓN ELECTROFORÉTICA (EPD) A PARTIR DE SUSPENSIONES SOL-GEL (TESIS)*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid -Facultad de Ciencias- Instituto de Cerámica y Vidrio (CSIC), 2003, pp. 13-19.
- [9] Alberto Montoya Portugal, Ernesto Palo Tejada, Ronald Pastor Rodríguez Yessy B. Guillen Baca, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA DEPOSICIÓN DE PELICULAS DELGADAS POR LA TÉCNICA DE DIP-COATING," Arequipa, 2009.
- [10] George W. Scherer C. Jeffrey Brinker, "Sol-Gel processing ," in *Sol-gel science: the physics and chemistry of sol-gel processing*. San Diego CA: ACADEMIC PRESS INC. ELSEVIER, 1990, pp. 2-7.

- [11] K. D. Keefer, D. W. Schaefer, R. A. Assink, B. D. Kay, C. S. Ashely C. J. Brinker, "Sol-Gel transition in simple silicates II," *J. Non-Cryst Solids Vol. 63*, pp. 45-69, 1984.
- [12] Yolanda Castro Martin, "Tipo de Catalizador," in *Recubrimientos protectores obtenidos por EPD a partir de suspensiones sol-gel*, Instituto de Cerámica y Vidrio (CSIC), Ed. Madrid, España: Instituto de Cerámica y Vidrio (CSIC), 2003, pp. 26-28.
- [13] M. A. Aegerter J. Puetz, "DIP COATING TECNHIQUE," in *Sol-gel technologies for glass producers and users.*: Springer, 2004, pp. 37-39.
- [14] IFN. (2010) INSTITUTE FOR PHOTOINCS AND NANOTECHNOLOGIES. [Online]. <http://www.science.unitn.it/~gcsmf/facilities/dip-coating.htm>
- [15] Yolanda Castro Martin, "Proceso de inmersión," in *Recubrimientos protectores obtenidos por deposición electroforética (EPD) a partir de suspensiones sol-gel*, Instituto de Cerámica y Vidrio (CSIC), Ed. Madrid, España: Universidad Autónoma de Madrid Facultad de Ciencias, 2003, p. 30.
- [16] YTC America Inc. (2008) Schematic diagram of the Dip-Coating Process. [Online]. http://www.ytca.com/dip_coating
- [17] Levi García¹, Delfín Moronta y John MantiLLa David Leal, "Diseño y construcción de un sistema automatizado para la elaboración de películas delgadas, por el método de inmersión," *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, vol. 26, no. 1, Marzo 2011.
- [18] Alan J. Hurd C. Jeffrey Brinker, "Fundamentals of sol-gel dip-coating. Sol-gel Chemistry (sección)," *J. Phys. III Fiance 4*, p. 1232, 1994.
- [19] AGAT LABORATORIOS. (2010) Ingeniería de Yacimientos. [Online]. www.agatlabs.com/spanish/content/capillarypressure.htm
- [20] Alan J. Hurd C. Jeffrey Brinker, "Fundamentals of sol-gel dip-coating-dip coating section," *J. Phys. III Fiance 4*, pp. 1233-1234, 1994.
- [21] David B. Mitzi, "CHEMICAL SOLUTION DEPOSITION-BASIC PRINCIPLES," in *SOLUTION PROCESSING OF INORGANIC MATERIALS*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009, pp. 49-53.
- [22] YTC AMERICA INC. (2008) YTC AMERICA INC. [Online]. http://ytca.com/dip_coating

- [23] Manoj Narayanan Robert W. Schwartz, "Chemical Solution Deposition-Basic principles," in *SOLUTION PROCESSING OF INORGANIC MATERIALS*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2009, pp. 49-52.
- [24] Jeyver André Morales Tabora, "Diseño y construcción de un sistema para el crecimiento de películas delgadas por el método de recubrimiento por inmersión," Universidad EAFIT, Medellín, Informe final Seminario de grado Ingeniería Física 2011.
- [25] BUNGARD DEL. (2010) Ihr Weg zur Leiterplatte. [Online]. http://www.bungard.de/index.php?option=com_content&view=article&id=39&Itemid=56&lang=english
- [26] Lady Concepción Rojas Torres, Implementación del Sistema de Gestión de Calidad según la Norma ISO 9001:2000 en una Industria Plástica, 2008.
- [27] AF Soluciones Industriales Ltda. (2011) Información Técnica Nylon. [Online]. <http://www.afsoluciones.co/af-nylon>
- [28] IJASA. (2009) IJASA División Industrial. [Online]. www.ijasa.com
- [29] SEARS • ZEMANSKY, *FÍSICA UNIVERSITARIA ED. 12*. Naucalpan de Juárez, Edo. de México: Pearson, 2009.
- [30] Hewitt Paul, *Física Conceptual Ed 9*. México: Pearson, 2004.
- [31] V B Bhandari, *Introduction to Machine Design*. Naveen Shahdara, New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2006.
- [32] A.R. Holowenco y H.G. Laughlin A. S. Hall, *Teoría y Problemas de Diseño de Máquinas*. México: Schaum-McGraw-Hill, 2004.
- [33] S.L. Plasticbages Industrial. (2012) Fabricación y Comercialización de Plásticos Técnicos. [Online]. <http://www.plasticbages.com/indexesp.html#>
- [34] Grupo SKF. (2012, Apr.) Principios para la selección y la aplicación de los rodamientos. [Online]. http://www.skf.com/portal/skf/home/products?maincatalogue=1&lang=es&newlink=10_36
- [35] Richard G Budynas and Keith J Nisbett, *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill, 2008.

- [36] LOT-QuantumDesign. (2012) Dip Coater. [Online]. <http://www.lot-orient.com/de/en/home/dipcoater/>
- [37] Alan Altamirano Cruz, Colección de Tesis Digitales Universidad de las Américas de Puebla, Julio 10, 2008.
- [38] Así funciona AF José Antonio García. (2012, Marzo) Así funciona, descubra cómo funcionan las cosas al alcance de todos. [Online]. http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_potencia/ke_potencia_elect_2.htm
- [39] C.B. Mendive, P.A. Corengia, M.O. Quinteiro, G.O. Ybarra, C.A. Moina D.A. Egidi, "DEPOSICIÓN DE PELÍCULAS DELGADAS POR PVD Y SU CARACTERIZACIÓN MEDIANTE AFM," San Martín, Buenos Aires., 2007.
- [40] Robert H. Reuss, "Introduction to Solution-Deposited Inorganic Electronics," in *SOLUTION PROCESSING OF INORGANIC MATERIALS*. Honoken, New Jersey: Wiley & Sons, Inc, 2009, pp. 1-19.
- [41] NERVION PINTURAS. (2009, Noviembre) NERVION Pinturas. [Online]. http://www.nervion.com.mx/web/conocimientos/rec_antico.php
- [42] GALVINFO, "El Proceso Continuo de Recubrimiento por inmersión en Caliente para Productos de Planchas de Acero," Indiana, 2010.
- [43] Richard Brown Fred Barlow, "FILM DEPOSITION TECHNIQUES AND PROCESSES," in *Thin film technology handbook*. New York: McGraw-Hill, 1997, pp. (1-1)-(1-10).
- [44] Zhaoqiang Li, Wei Li, Yaru Nie, Zhimin Chen, Yanping Wang, Bai Yang Lijuan An, "Patterned magnetite films prepared via soft lithography and thermal decomposition," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials Vol. 303*, pp. 127–130, 2006.
- [45] Yolanda Castro Martín, "Hidrólisis y condensación -tipos de alcóxidos," in *RECUBRIMIENTOS PROTECTORES OBTENIDOS POR DEPOSICIÓN ELECTROFORÉTICA (EPD) A PARTIR DE SUSPENSIONES SOL-GEL*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid - Facultad de Ciencias-Instituto de cerámica y vidrio (CSIC), 2003, p. 24.
- [46] Yolanda Castro Martín, "Transición sol-gel, secado y sinterización," in *RECUBRIMIENTOS PROTECTORES OBTENIDOS POR DEPOSICIÓN ELECTROFORÉTICA (EPD) A PARTIR DE SUSPENSIONES SOL-GEL (TESIS)*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid-Facultad de Ciencias-Instituto de Cerámica y Vidrio (CSIC), 2003, pp. 27-29.

- [47] Sakka S., "Preparation and properties of sol-gel coating films," *J. Sol-Gel Sci. Technologies Vol. 2*, pp. 451-455, 1994.
- [48] A. Chelouche, A. Aksas, M. Sebais D. Djouadi, "Optical properties of ZnO/silica nanocomposites prepared by sol-gel method and deposited by dip-coating technique," *Physics Procedia. Vol 2*, pp. 701-705, 2009.
- [49] Yolanda Castro Martín, "Secado y sinterización de capas obtenidas por sol-gel," in *RECUBRIMIENTOS PROTECTORES OBTENIDOS POR DEPOSICIÓN ELECTROFORÉTICA (EPD) A PARTIR DE SUSPENSIONES SOL-GEL*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid-Facultad de Ciencias-Instituto de Cerámica y Vidrio (CSIC), 2003, pp. 36-39.
- [50] P. F. James I. Strawbridge, "The factors affecting the thickness of sol-gel derived silica coatings prepared by dipping," *J. Non-Cryst. Solids. Vol. 86*, pp. 381-393, 1986.
- [51] P. Colombo, F. Peron, L. Mancinelli M. Guglielmi, "Dependence of thickness on the withdrawal speed for SiO₂ and TiO₂ coatings obtained by the dipping method," *J. Mater. Sci. Vol. 27*, pp. 5052-5056, 1992.
- [52] Alain C. Pierre, "APPLICATIONS OF SOL-GEL PROCESSING," in *Introduction to sol-gel processing*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998, pp. 347-351.
- [53] Erik Lokensgard, "Coating processes," in *Industrial Plastics Theory and Applications*. Nueva York: THOMSON -DELMAR LEARNING, 2004, pp. 292-293.
- [54] Eliezer M. Rabinovich, "COAT METHODS," in *SOL-GEL OPTICS: PROCESSING AND APPLICATIONS*. Norwell, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2007, pp. 147-151.
- [55] T. M. Schuller, S. Itza-Ortíz, J. Jimenez, S. Stader. D. L. Ederer, "Nanostructures, Magnetic Materials, Ceramics and Thin Films Probed by X-rays," in *SOL-GEL SCIENCE AND TECHNOLOGY*. Norwell, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2003, pp. 278-287.
- [56] F. Canul-Vargas, O. Solís Canto y P. Quintana A. I. Oliva, "PELÍCULAS DELGADAS METÁLICAS USADAS COMO SENSORES DE MEDICIÓN," Mérida, Yucatán, México, p. 7.
- [57] F. Canul-Vargas, O. Solís Canto y P. Quintana A. I. Oliva, "PELÍCULAS DELGADAS METÁLICAS USADAS COMO SENSORES DE MEDICIÓN," Mérida, Yucatán,.

6. ANEXOS

I. Manual de uso Dip Coater 136

1. Contenido

1. Contenido
2. Glosario
3. Uso
4. Instrucciones de seguridad
5. DC-136. El dispositivo
6. Procedimiento de instalación
7. Función de depositación
8. Descripción del reactor
9. Operación
10. Mantenimiento
11. Solución de problemas
12. Especificaciones técnicas
13. Referencias de piezas

2. Glosario

Ciclo: subproceso que comprende las etapas de inmersión, tiempo de inmersión y extracción de los sustratos en el sol.

Buzzer: elemento electrónico que emite un sonido de alarma.

Ciclo de uso: para efectos prácticos se refiere al procedimiento incluyendo las etapas de operación manual como ubicación del contenedor y los sustratos.

Dip coater: máquina que se utiliza para realizar depositación de películas delgadas en fase líquida mediante la técnica de inmersión de sustrato.

Encoder: arreglo electrónico que sirve para determinar la velocidad de giro de un eje.

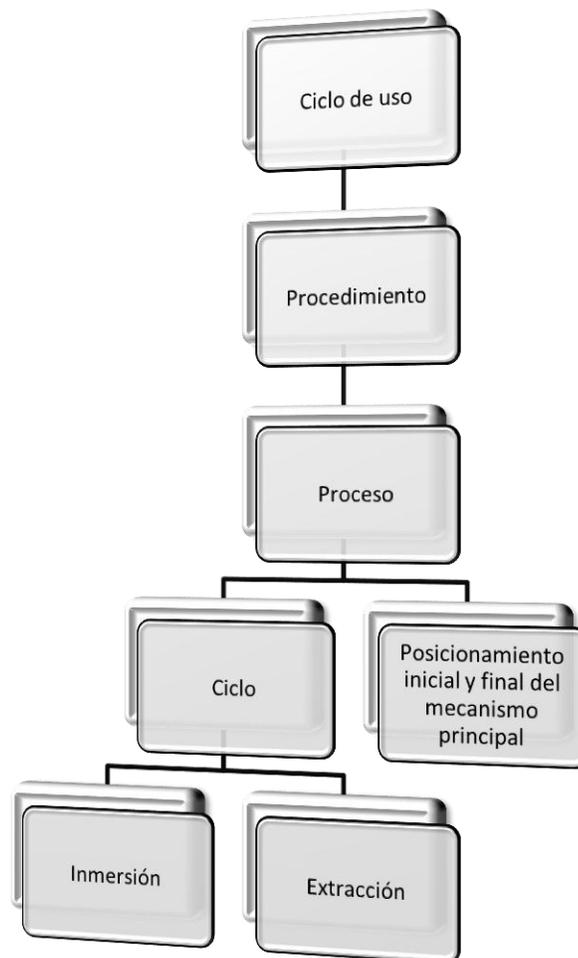
LED: diodo emisor de luz (Light-Emitting Diode).

Procedimiento: conjunto de procesos que conforman el ciclo de uso del DC 136.

Proceso: conjunto de acciones que incluye la ubicación del mecanismo principal en posición inicial, el ciclo (ejecutado el número de repeticiones indicadas por el usuario) y la ubicación en posición final del mecanismo principal.

3. Uso

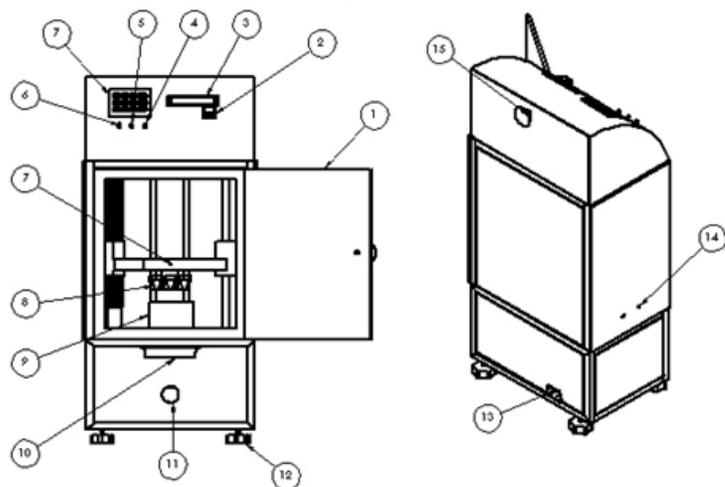
La jerarquía de uso de este dispositivo está descrita en el siguiente sistema:



4. Instrucciones de seguridad

- ⚠ Antes de comenzar a usar el dispositivo, por favor lea este manual completamente.
- ⚠ Este dispositivo está diseñado para trabajo en ambientes cerrados y aunque los componentes se encuentran revestidos en materiales aislantes y anticorrosivos, los ambientes abiertos pueden generar condiciones de riesgo eléctrico y químico para el dispositivo. Se recomienda por tanto conservar el ambiente de trabajo en espacios cerrados.
- ⚠ Los componentes de la máquina están diseñados para ejercer sus funciones conjuntamente, si requiere realizar el cambio de alguno de ellos, consulte los planos de referencia para poder remplazarlos por unos adecuados que contengan las mismas características dimensionales y de trabajo.
- ⚠ Mientras el dispositivo esté en operación, no introduzca sus manos o cualquier elemento dentro de la cámara de depositación ni abra las puertas de mantenimiento.
- ⚠ Es recomendable que el dispositivo no se utilice inmediatamente después de que éste haya reportado alguna anomalía de operación mediante la alarma y el LED de color rojo, realice una inspección visual cuidadosa para volver a operarlo (ver sección 11 Solución de problemas).
- ⚠ No distorsione el funcionamiento del dispositivo excediendo los límites de operación ya que en condiciones de sobrecarga puede estropearse el mecanismo principal y los componentes eléctricos de la máquina.

5. DC-136. El dispositivo



1. Puerta de la cámara de depositación
2. Botón de encendido
3. Display LCD
4. LED de color Rojo de alarma
5. LED de color Amarillo que indica el fin del proceso
6. LED de color verde que indica el funcionamiento
7. Mecanismo principal
8. Ganchos sujetadores de sustratos
9. Contenedor del sol
10. Manija para apertura de puerta de inspección frontal
11. Orificio para observar la posición del nivel
12. Pines roscados para nivelación
13. Conector de la fuente de alimentación
14. Orificios para insuflar gases (racores)
15. Manija de apertura puerta de inspección trasera

6. Procedimiento de instalación

Este dispositivo ha sido ensamblado completamente para operación, por lo tanto no es necesario realizar labores de ensamble al momento de iniciar su uso salvo el posicionamiento de los contenedores de solución y los sustratos. Sin embargo:

 Asegúrese de que el lugar de trabajo donde se ubica el dispositivo provee suficiente estabilidad para la operación.

 Supervise que en el lugar de trabajo no haya cortes en el suministro de energía eléctrica que interrumpan el proceso.

7. Función de depositación

El Dip Coater 136 está diseñado para realizar la depositación de películas delgadas sobre sustratos que puedan ser sujetados por los ganchos del mecanismo. Estos sustratos deben además cumplir con los requisitos dimensionales para poder realizar la inmersión en los contenedores provistos. El dispositivo puede realizar el procedimiento de Dip coating hasta con tres sustratos a condición de que el ancho de éstos no supere los 20 mm.

El *ciclo de uso* del dispositivo comprende las siguientes etapas:

1. Encendido y nivelado.
2. Ubicación del contenedor del sol.
3. Ubicación del (los) sustrato(s) en el (los) gancho(s)
4. Ingreso de datos por medio del teclado

5. Ubicación del mecanismo central en la posición de inicio de carrera.
6. Desplazamiento del mecanismo central hasta el punto de inmersión.
7. De haberse indicado, existe un tiempo de inmersión durante el cual el mecanismo principal conserva la posición del (los) sustrato(s) sumergido(s).
8. Extracción del (los) sustrato(s) del contenedor de la solución.
9. Conservación de esta posición durante el tiempo de retardo designado por el usuario.
10. Si el número de ciclos indicado por el usuario es distinto de “1” (uno), se repiten los pasos 3 (tres) a 6 (seis) hasta que se satisfaga esta condición.
11. Retirado del (los) sustrato(s) del (los) gancho(s).

8. Descripción del reactor

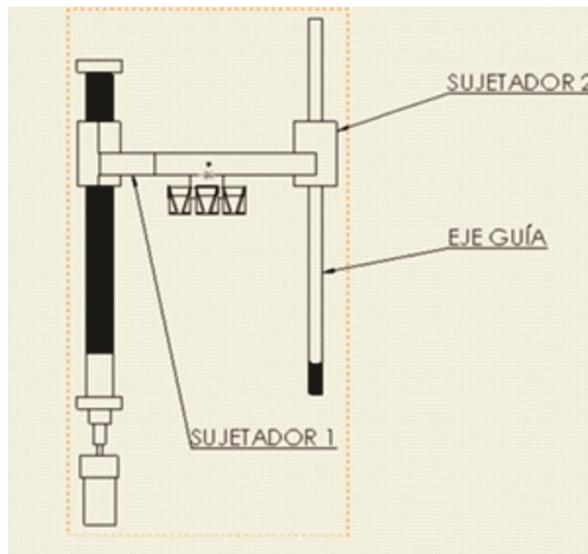
El dispositivo consta de tres secciones, en la parte inferior se encuentran los sistemas de propulsión mecánica del sistema y los circuitos necesarios para el funcionamiento del motor, asimismo, contiene el arreglo del Encoder. La sección central constituye la cámara de inmersión, es donde se encuentra el mecanismo central que soporta los sustratos y se desplaza hasta el contenedor del sol, en esta sección se encuentran los sensores de inicio y fin de carrera y ciclo. En la sección superior se encuentran los sistemas de interacción con el usuario, es decir, el teclado y el display LCD. También allí reposan los circuitos electrónicos que dan funcionamiento a estos sistemas y el microcontrolador.

8.1. Mecanismo central

Está compuesto de un husillo con un buje roscado. Cuando se acciona el motor el husillo transforma el movimiento en un desplazamiento lineal del brazo donde se encuentran los sustratos. Existe además un eje paralelo al husillo en el cual está pivotado el extremo opuesto del brazo con lo cual se elimina el pandeo del brazo.

El husillo posee dos rodamientos de bolas que le soportan y además le conceden la correcta alineación para su desplazamiento. Tanto el eje guía como los rodamientos están fabricados en acero inoxidable.

El husillo, el buje roscado, el brazo y el buje que se desplaza sobre el eje guía (en el lado opuesto del brazo) están fabricados de Nylon autolubricado para eliminar los efectos de fricción. Este material es químicamente estable y resistente, además absorbe el ruido. Estas piezas son livianas para guardar una buena relación de potencia del motor.



8.2. Cámara de deposición

Consta de una estructura metálica recubierta con baño electrostático de pintura. Además está recubierta por una base anticorrosiva debido a que en ella se realiza el proceso de deposición y es posible insuflar gases por medio de boquillas que se encuentran en la parte inferior de la tapa lateral izquierda.

Las tapas laterales (derecha e izquierda) se encuentran fabricadas en policarbonato traslúcido para permitir la visualización del proceso. En la parte frontal se encuentra una puerta fabricada con policarbonato traslúcido con cierre magnético y en la parte posterior un perfil metálico en forma de doble Z que conjuntamente con la tapa posterior forma un ducto que sirve de alojamiento a los cables que atraviesan el dispositivo en forma vertical. Las tapas seccionadoras inferior y superior dan soporte a los rodamientos que alojan el mecanismo central. Están fabricadas de una resina polistérica y recubiertas con bases anticorrosivas.

8.3. Equipamiento electrónico y eléctrico

El dispositivo cuenta con un microcontrolador encargado de ejecutar el proceso de acuerdo a los parámetros seleccionados por el usuario, además opera el display, un buzzer de alarma, un LED rojo, uno verde y otro amarillo además del teclado. En la parte superior de la máquina está incorporado un display LCD en el cual se visualizan los datos asignados a las variables del procedimiento. Un teclado alfanumérico es el medio el que dispone el usuario para ingresar los datos. Existen cuatro mecanismos de sensado en la máquina:

- Encoder: encargado de registrar la velocidad de giro del motor. Está unido al eje de media caña que sirve de acople entre el motor y el husillo del

mecanismo central.

 Sensor de posición 1: es un microswitch ubicado en la posición de inicio de carrera e informa al microcontrolador la ubicación del brazo porta sustratos en la posición inicial de carrera.

 Sensor de posición 2: es un par emisor receptor que se activa cuando el brazo porta sustratos ha alcanzado la posición final de carrera.

 Sensor de posición 3: es un arreglo emisor receptor que está ubicado en medio de los sensores 1 y 2, este sensor sirve para determinar el fin de un ciclo de inmersión y es en esta posición donde permanece el mecanismo central durante el tiempo que el usuario haya indicado en la variable “tiempo de retardo entre ciclos”.

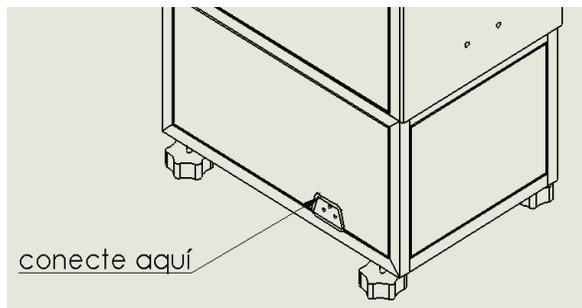
El LED de color verde indica que el dispositivo se encuentra operando, cuando se da por terminado el proceso de dip coating se apaga y se enciende uno de color amarillo al igual que se emite una alarma por un espacio de 1 segundo en tres ocasiones. Un LED de color rojo se activa conjuntamente con una alarma (un buzzer) cuando el dispositivo detecta alguna falla en su funcionamiento.

Para el funcionamiento del motor el dispositivo tiene incorporado un circuito de puente en H que le permite experimentar cambios en su sentido de giro y modulación de alimentación para control (PWM). El sistema está sustentado por una fuente de potencia alimentada a su vez por medio de un transformador al que llega la tensión de entrada directamente del tomacorriente donde se conecte el dispositivo. La misma fuente provee la alimentación del microcontrolador y los demás circuitos que operen en un rango de tensión de entre 5 y 5.5 Vdc. La fuente y el transformador están ubicados en la parte inferior del dispositivo que es también donde se encuentra el conector externo de la máquina.

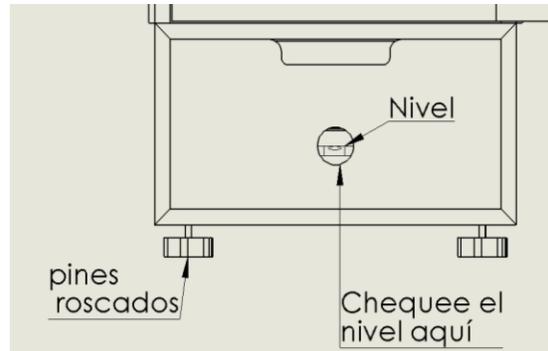
9. Operación

Para operar el dispositivo DC 136:

1. Asegúrese de que el cable de suministro de energía eléctrica esté bien conectado en la parte posterior del dispositivo como se aprecia en la siguiente figura:



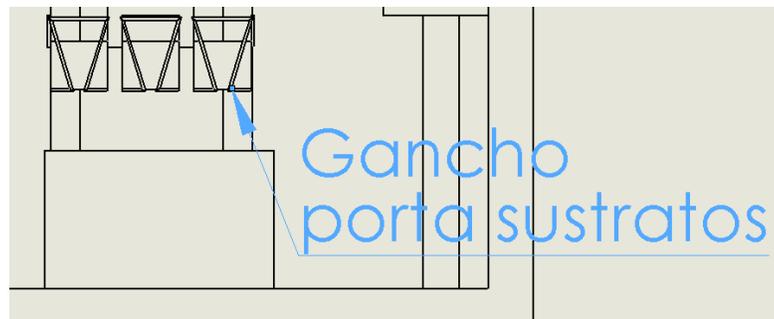
2. Presione el botón de encendido y espere, en el Display debe aparecer la leyenda “DC 136, Bienvenido”, luego el dispositivo entra en un estado de espera reportado en el display como “Esperando inicio”.
3. Chequee que el dispositivo esté nivelado por medio del orificio que se muestra en la figura:



NOTA: 

En caso de que el dispositivo no se encuentre nivelado, gire los pines roscados hasta lograr la nivelación del aparato.

4. Vierta el sol dentro de alguno de los contenedores suministrados.
5. Ubique el contenedor dentro de la cámara de depositación.
6. Sujete el (los) sustrato(s) con ayuda del gancho porta sustratos.



7. Cierre firmemente la portezuela de la cámara de depositación.
8. Presione cualquier botón en el teclado para iniciar el proceso de dip coating.
9. Debe aparecer la leyenda: “Introduzca vel in” en el display. Digite cuál es el valor que usted asignará a la velocidad de inmersión en mm/min.

Luego pulse la tecla asterisco (*).

IMPORTANTE: 

Recuerde que el rango de operación para la velocidad de inmersión está limitado desde 1 hasta 19 mm/min. Sólo pueden ser ingresados valores enteros.

10. Debe aparecer la leyenda: “Introduzca vel ext” en el display. Digite cuál es el valor que usted asignará a la velocidad de extracción en mm/min. Luego pulse la tecla asterisco (*).

IMPORTANTE: 

Recuerde que el rango de operación para la velocidad de extracción está limitado desde 1 hasta 19 mm/min. Sólo pueden ser ingresados valores enteros.

11. Debe aparecer la leyenda: “Introduzca t in” en el display. Digite cuál es el valor que usted asignará al tiempo de inmersión en segundos. Luego pulse la tecla asterisco (*).

IMPORTANTE: 

Recuerde que para el tiempo de inmersión el rango de operación está limitado desde 0 hasta 36000 s. Sólo pueden ser ingresados valores enteros.

12. Debe aparecer la leyenda: “Introduzca t retardo” en el display. Digite cuál es el valor que usted asignará a dicha al tiempo de retardo entre ciclos. Luego pulse la tecla asterisco (*).

IMPORTANTE: 

Recuerde que para el tiempo de retardo entre ciclos el rango de operación está limitado desde 0 hasta 36000 s. Sólo pueden ser ingresados valores enteros.

13. Debe aparecer la leyenda: “Introduzca N” en el display. Digite cuál es el valor que usted asignará a dicha al número de ciclos (número de inmersiones). Luego pulse la tecla asterisco (*).

IMPORTANTE: 

Recuerde que número de ciclos está limitado desde 1 hasta 100. Sólo pueden ser ingresados valores enteros.

14. En este punto el dispositivo iniciará el proceso de dip coating apareciendo en el display la leyenda “Operando” y encendiéndose el LED de color verde.

NOTA: 

En caso de que el dispositivo detecte alguna anomalía en el funcionamiento lo indicará con la emisión de una alarma sonora y el encendido del LED de color rojo. Debe interrumpirse el procedimiento y verificar las condiciones de trabajo.

15. Una vez terminado el proceso se apagará el LED verde, además se emitirá una señal sonora por espacio de 1 segundo y se repetirá tres veces, al mismo tiempo se encenderá el LED de color amarillo indicando con ello que el proceso está terminado. En el display aparecerá la leyenda “Fin de proceso” durante 10 segundos, luego ésta cambiará a “Repetir 1, Repetir 2 Apagar 3”. La función “Repetir 1” indica la repetición del proceso con los parámetros establecidos para el proceso inmediatamente anterior, para seleccionarla presione el botón “1” del teclado. La función “Repetir 2” implica el ingreso de nuevos parámetros de operación para un nuevo proceso, para seleccionarla presione el botón “2” en el teclado. La función “Apagar 3” como su nombre lo indica apaga el dispositivo, para seleccionarla presione “3” en el teclado.

NOTA: 

Si se ha seleccionado la opción “Repetir 1” o “Repetir 2”, en el display se podrá leer “Esperando inicio”, y se continuará con el proceso cuando se presione la tecla número (#) del teclado.

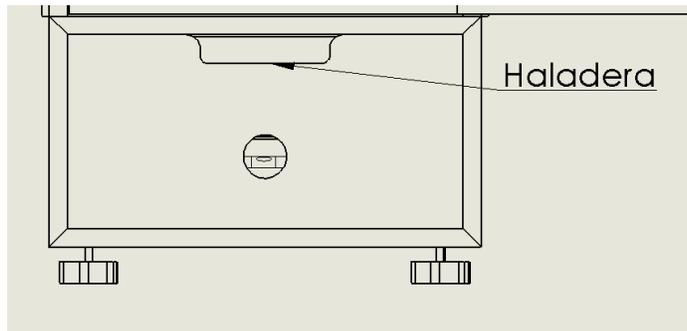
16. Al terminar el número de procesos deseados, abra la portezuela de la cámara de depositación y retire el (los) sustrato(s) recubiertos.
17. ¡Ha llegado al fin del procedimiento!
18. Limpie el dispositivo para un nuevo uso.

10. Mantenimiento

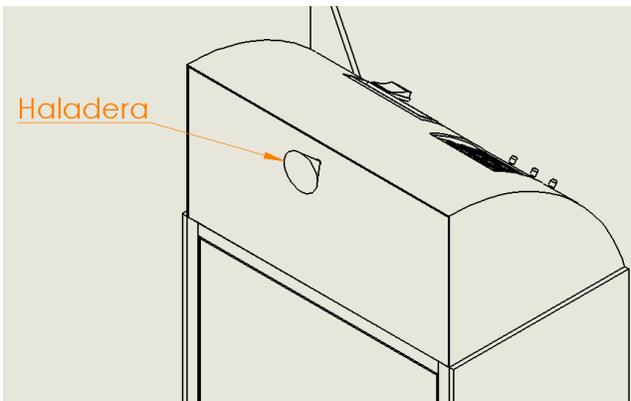
Para preservar el dispositivo y su funcionamiento se recomienda realizar labores de aseo sobre éste periódicamente ya que al permitir la entrada de gases es necesario limpiar la cámara de depositación con una toalla limpia y seca. Nunca utilice objetos cortantes, esponjas metálicas sobre ningún componente del aparato. No se recomienda el uso de detergentes ni agentes granulados ya que éstos pueden deteriorar las juntas de los rodamientos del mecanismo central. Lave y seque muy bien los contenedores del sol una vez los haya utilizado para evitar residuos contaminantes en ellos.

Para realizar labores de mantenimiento y limpieza sobre el dispositivo DC 136:

1. Asegúrese de que el dispositivo esté apagado, se recomienda que el cable de suministro de energía eléctrica esté desconectado.
2. Las cubiertas anterior y posterior pueden abrirse para realizar labores de mantenimiento. Éstas se ajustan con cierres magnéticos. La compuerta delantera inferior provee acceso al motor y los circuitos relacionados con el funcionamiento de éste y las fuentes de alimentación generales del dispositivo. Esta compuerta tiene una agarradera en la parte superior.

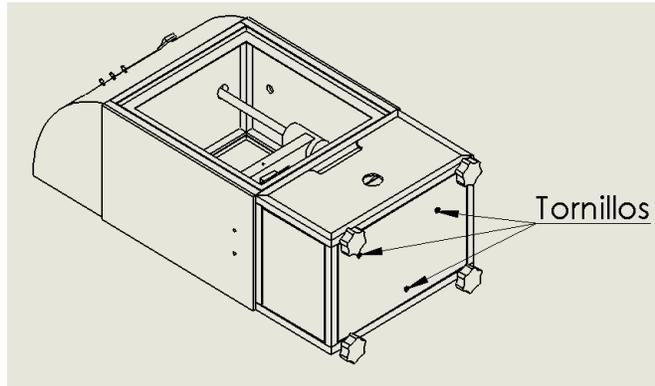


Mientras que la compuerta de inspección superior provee acceso a los componentes electrónicos como el microcontrolador, el display, el teclado y los LED. Está provista de una haladera circular similar a la de la puerta de la cámara de depositación.

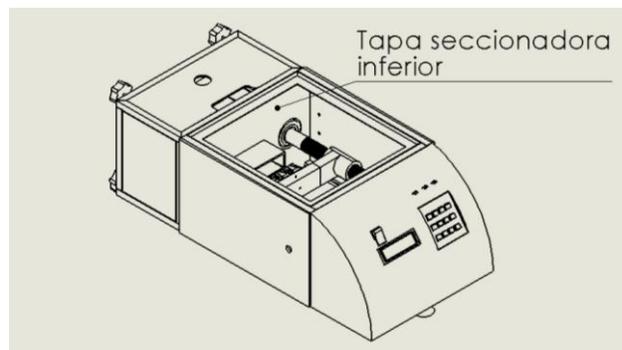


3. En caso de requerirse la remoción del mecanismo principal, desconecte cuidadosamente el motor y el encoder.
4. Ubique el dispositivo en posición horizontal, es decir, con su longitud mayor sobre la horizontal y con ayuda de un destornillador remueva los

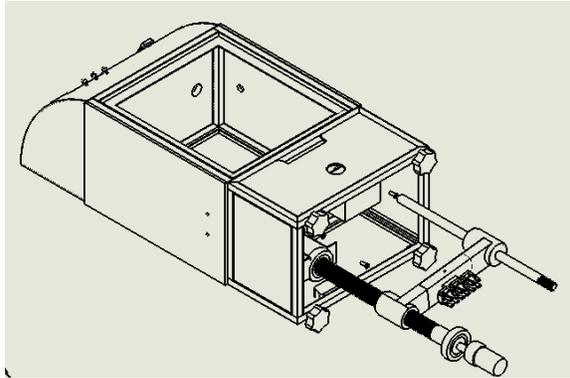
tornillos de la tapa inferior.



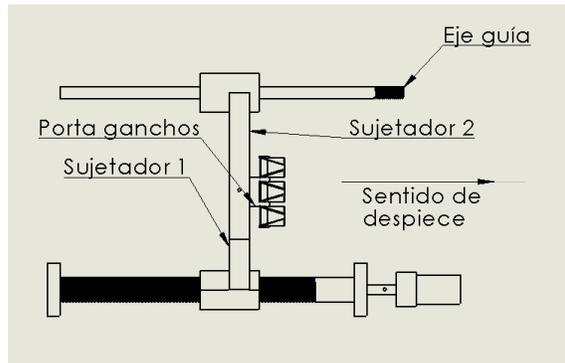
5. Retire cuidadosamente la tapa inferior ya que a ésta se encuentran fijos los soportes del motor, el nivel y el encoder.
6. Retire cuidadosamente la tapa seccionadora inferior.



7. Luego de remover esta tapa, el mecanismo principal sólo estará apoyado en el rodamiento superior por lo que puede halar suavemente el mecanismo por la parte inferior para retirarlo del dispositivo por la tapa inferior.

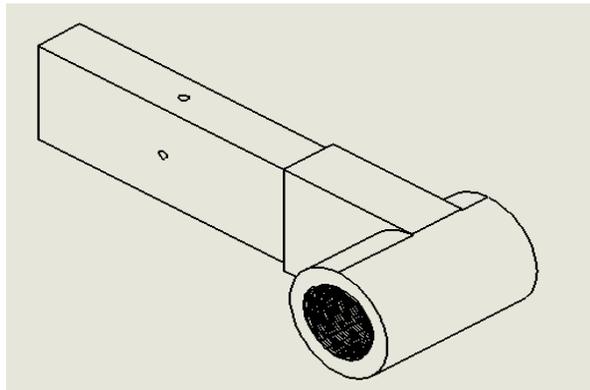


8. Una vez removido el mecanismo principal, retire el eje guía y el conjunto de porta ganchos lo que posibilitará desprender el sujetador 1 y el sujetador 2.

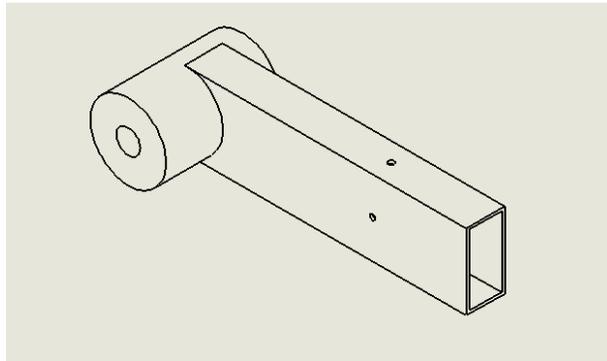


9. Retirados estos elementos podrá obtenerse cada pieza por separado (previa remoción de los rodamientos).

El sujetador 1



Y el sujetador 2



11. Solución de problemas

PROBLEMA	POSIBLES CAUSAS	QUÉ HACER
El DC 136 no funciona	No hay suministro de energía eléctrica	Asegúrese de que el cable de alimentación esté bien conectado
Se encendió el LED de color rojo y la alarma suena constantemente	Esto se debe a una para en el motor producida por una sobredemanda de corriente debida a un exceso de carga, esta carga puede obedecer a la presencia de contaminantes en la rosca del husillo o algún bloqueo mecánico en el desplazamiento del mecanismo principal	Suspenda de inmediato el uso del dispositivo accionando el botón de para y proceda a revisar visualmente los componentes del dispositivo
	Exceso de carga	Verifique que la carga (sustratos) están dentro del rango de operación del dispositivo

	Puede haber algún problema en el circuito de alimentación del motor lo que implica que a éste no le sea suministrada la corriente necesaria para operar.	Suspenda de inmediato el uso del dispositivo accionando el botón de para y proceda a revisar el circuito de alimentación
Interior manchado o piezas manchadas	Esto es normal debido a las atmósferas gaseosas en las que se desarrolla el procedimiento	Remueva las piezas manchadas cuidadosamente y utilice un detergente líquido para limpiarlas
Ruidos extraños	Presencia de cuerpos extraños o piezas desajustadas o aflojadas	Haga una inspección visual del aparato para identificar la fuente del ruido
Pandeo	Desajuste en el mecanismo central, puede ocurrir por deterioro en la rosca del husillo (desgaste) o desalineación del eje guía	Remueva las piezas del mecanismo central e inspeccione el estado de estas piezas

12. Especificaciones técnicas

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Voltaje nominal de trabajo	110 V / 60 Hz
Corriente nominal de trabajo	0,7 A
Dimensiones	690x310x200 mm
Peso	18 kg
Color	Negro
Velocidad de inmersión	1-19 mm/min
Velocidad de extracción	1-19 mm/min
Longitud de carrera	100 mm
Carga máxima	100 g
Número máximo de ciclos de inmersión	100
Tiempo de inmersión	1-36000 s

Tiempo de retardo entre ciclos	1-36000 s
Dimensiones máximas del sustrato sumergible	Longitud 50 mm, ancho 20 mm (para tres sustratos)

13. Referencias de piezas

Previendo un recambio de piezas se adiciona el código de cada una de las piezas para consulta en los documentos de planimetría del dispositivo.

NOMBRE DEL COMPONENTE	TIPO	REFERENCIA
DC136	Ensamble	0-0
Base Estructural	Ensamble	0-1
Superior	Ensamble	0-10
Cubierta superior	Pieza	1-101
Tapa de Cubierta superior	Pieza	1-102
Bisagra	Pieza	1-103
Cierre magnético	Pieza	1-104
Display	Pieza	1-105
Teclado Alfanumérico	Pieza	1-106
Central	Ensamble	0-11
Vertical Base Central	Pieza	1-111
Longitudinal Base Central	Pieza	1-112
Transversal Base Central	Pieza	1-113
Marco de puerta	Pieza	1-114
Empaque de marco de puerta	Pieza	1-115
Tapa Posterior Central	Pieza	1-116
Tapa Lateral derecha	Pieza	1-117
Tapa Lateral izquierda	Pieza	1-118
Puerta Cámara	Pieza	1-119
Bisagras Puerta Cámara	Pieza	1-120
Manija Puerta	Pieza	1-121
Cierre magnético Puerta Central	Pieza	1-122
Ducto para cables	Pieza	1-123
Racor	Pieza	1-124
Haladera	Pieza	1-125
Inferior	Ensamble	0-12
Transversal Base inferior	Pieza	1-121
Vertical Base inferior	Pieza	1-122

Longitudinal Base Inferior	Pieza	1-123
Tuerca de Seguridad	Pieza	1-124
Pines roscados	Pieza	1-125
Tapa lateral	Pieza	1-126
Tapa Posterior Inferior	Pieza	1-127
Nivel	Pieza	1-128
Porta nivel	Pieza	1-129
Omega del motor	Pieza	1-130
Tapa Frontal Inferior	Pieza	1-131
Tapa inferior	Pieza	1-132
Tapas seccionadoras	Ensamble	0-2
Tapa Seccionadora Superior	Pieza	1-21
Tapa Seccionadora Inferior	Pieza	1-22
Mecanismo Principal	Ensamble	0-3
Tornillo principal	Pieza	1-31
Sujetador 1	Pieza	1-32
Sujetador 2	Pieza	1-33
L porta ganchos	Pieza	1-34
Gancho porta sustratos	Pieza	1-35
Eje Guía	Pieza	1-36
Contenedor	Pieza	1-37
Motor	Pieza	1-38
Eje media caña	Pieza	1-39
Rodamiento	Pieza	1-40
Contenedor rectangular	Pieza	1-41
Contenedor circular	Pieza	1-42

II. Ficha técnica de especificaciones Dip Coater 136

	PROYECTO DIP COATER 136 FICHA TÉCNICA DE ESPECIFICACIONES DIP COATER 136	CÓDIGO: DC136-05
NOMBRE DEL ELEMENTO:	DIP COATER 136	

APLICACIONES:	Formación en el Laboratorio de Instrumentación y Espectroscopía de la Universidad EAFIT, investigación, deposición de películas delgadas.
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
<p>Dispositivo destinado al recubrimiento de sustratos con películas delgadas por el método de Dip Coating con control de variables críticas en el proceso. Integra Display LCD y teclado alfanumérico</p> <p>Requiere de cable de alimentación eléctrica de 110V/60 Hz</p> <p>Permite el ingreso de gases a través de dos racores y una boquilla de salida de válvula de registro de bola</p> <p>Permite la visualización del proceso de Dip Coating a través de tres caras incluida la puerta de la cámara de deposición</p> <p>Fabricado en: Nylon autolubricado, acero inoxidable, resina polistérica, OXFD, policarbonato, lámina acero galvanizado CR y Acero CR laminado en frío con aplicaciones de bases anticorrosivas</p> <p>Voltaje nominal de trabajo: 110V/60Hz</p> <p>Corriente nominal de trabajo: 0,7 A</p> <p>Dimensiones: 690x310x200 mm</p> <p>Peso: 18 Kg</p> <p>Color: negro</p> <p>Velocidad de inmersión: 1-19 mm/min</p> <p>Velocidad de extracción: 1-19 mm/min</p> <p>Longitud de carrera: 100 mm</p> <p>Carga máxima: 100 g</p> <p>Número de ciclos de inmersión: 100</p> <p>Tiempo de inmersión: 1-36000 s</p> <p>Tiempo de retardo entre ciclos: 1-36000 s</p> <p>Dimensiones máximas del sustrato sumergible: Longitud 50 mm, ancho 20 mm (para uso de tres sustratos)</p>	

III. Código PIC

```
// Programa de control Dip Coater 136
// Trabajo de Grado
// Jeyver Andre Morales
#include <16f886.h>
#include <delay.h>
#define delay(clock=4000000)
#define fuses XT,NOPROTECT,NOWDT,NOBROWNOUT,PUT,NOLVP
#define PORTA 5
#define PORTB 6
#define PORTC 7
#define use_portb_kbd true
#define use_portb_lcd true
#include <KBD.C>
#include <LCD.C>
// Definiciones para el puerto C
#define encoder portc,0 // I: Encoder, velocidad del motor
#define sentido portc,1 // O: Cambio de giro del motor, 1
retroceso 0 avance
#define pwm portc,2 // O: PWM para el motor
#define verde portc,3 // O: Led indicador en proceso
#define amarillo portc,4 // O: Led indicador fin de proceso
#define rojo portc,5 // O: Led indicador fallo motor
#define buzzer portc,6 // O: Alarma auditiva
#define switche portc,7 // I: MS de inicio de carrera
// Definiciones para el puerto A
#define parf porta,0 // I: Par llego a sumercion
#define pari porta,1 // I: Par inicio sumercion

char K, repetir;
int cont, posx, posy, intermitente, num, cont_digitos; //cont_pos;
int num_digitos = 5; // Numero de digitos admisibles en teclado
int digitos[5] = {0,0,0,0,0};
long valor, velin, velex, N, tin, tex;
bool leyendo = TRUE;
/*float frec_cristal = 4000000.;
float frec_pwm = 40000;
float T_pwm, T_cristal;
int PR2;*/
long periodo = 1000;
long Ton_in, Ton_ex, msec;
float dureza, voltaje;
float voltaje_ref = 25;

void alarma_bloqueo(){
// Alarma que se activa si una situacion critica acontece
// La alarma suena continua durante 10s
//bit_clear(pwm);
bit_clear(verde);
```

```

    bit_set(rojo);
    bit_set(buzzer);
    delay_ms(10000);
    bit_clear(buzzer);
}

void alarma_fin(){
    // Alarma que se activa si el proceso culmina
    // La alarma suena intermitentemente 10 segundos
    lcd_putc('\f');
    lcd_gotoxy(1,1);
    lcd_putc("Fin de proceso");
    intermitente = 3;
    cont = 0
    bit_set(amarillo);
    while(cont <= intermitente){
        bit_set(buzzer);
        delay_ms(1000);
        bit_clear(buzzer);
        delay_ms(1000);
        cont++;
    }
}

void numero(){
    valor =
    digitos[0]*10000+digitos[1]*1000+digitos[2]*100+digitos[1]*10+digi
    tos[0];
}

void init_teclado(){
    // Inicializa variables para uso de teclado
    cont = 0;
    cont_digitos = 0;
    K='\0';
    posx =1;
    posy = 2;
    leyendo = TRUE;
    while(cont<num_digitos){
        digitos[cont] = 0;
        cont++;
    }
    cont = 0;
    numero();
}

/*void mostrarlcd(){
    cont_pos = 0;
    while(cont_pos<=num_digitos){

```

```

        lcd_gotoxy(posx+cont_pos+1, posy);
        lcd_putc(48+digitos[cont_pos]);
    }
}
sustituir por
printf(lcd_putc, "%d", valor);
*/

void teclado() {
    // Rutina de adquisicion de teclado y visualizacion de digitacion
    init_teclado();
    while(leyendo) {
        K=kbd_getc();
        while(K!='\0') {
            K=kbd_getc();
        }
        if(cont<num_digitos) { // Maximo num_digitos.
            if(K!='*' && K!='#') {
                num = K - 48; // Determina digito numerico presionado
                cont_digitos = 0;
                while(cont_digitos<num_digitos-1) { // Desplazamiento decimal
                    digitos[cont_digitos] = digitos[cont_digitos+1];
                    cont_digitos++;
                }
                digitos[num_digitos-1] = num; // Cifra de unidades
                cont++;
                K='\0';
                numero(); // Determina valor actual
                posx=1; posy=2;
                lcd_gotoxy(posx, posy);
                printf(lcd_putc, "%d", valor);
            }
            if(K=='#') {
                // Borrado de numero. Se espera por nuevo ingreso. Valor 00000
                init_teclado();
                posx=1; posy=2;
                lcd_gotoxy(posx, posy);
                printf(lcd_putc, "%d", valor);
            }
            if(K=='*') {
                // Confirmar digitacion
                leyendo = FALSE;
                posx=1; posy=1;
                lcd_gotoxy(posx, posy);
                printf(lcd_putc, "Usted confirmo\n %d", valor);
            }
        }
    }
    else{

```

```

// Maximo numero. Solicitud de confirmacion o borrado
K=kbd_getc();
while(K!='*' && K!='#'){
    K=kbd_getc();
}
if(K=='*'){
    // Confirmar digitacion
    leyendo = FALSE;
    posx=1; posy=1;
    lcd_gotoxy(posx,posy);
    printf(lcd_putc,"Usted confirmo\n %d",valor);
}
if(K=='#'){
    // Se borra valor y espera nuevo ingreso
    init_teclado();
    posx=1; posy=2;
    lcd_gotoxy(posx,posy);
    printf(lcd_putc,"%d",valor);
}
}
}
}

void dutty(){
    // (vel+2.50961)/0.86095 = Voltaje ->
    voltaje = ((float)velin + 2.50961)/0.86095;
    Ton_in = (periodo*voltaje*100.)/voltaje_ref;
    voltaje = ((float)velex + 2.50961)/0.86095;
    Ton_ex = (periodo*voltaje*100.)/voltaje_ref;
}

void main(){
    SET_TRIS_C(0B10000001); // Configuracion de I(1)/O(0) del puero
    C. RC7 a RC0.
    SET_TRIS_A(0B00000011); // Configuracion de I(1)/O(0) del puero
    A. RA5 a RA0.
    PORT_B_PULLUPS(TRUE); // habilita las resistencias pullups del
    puerto A (Uso de teclado y LCD)
    KBD_INIT(); //inicia teclado
    LCD_INIT(); // inicia lcd
    // Configuracion del PWM
    /*setup_vref(FALSE);
    T_cristal = 1/frec_cristal;
    T_pwm = 1/frec_pwm;
    PR2 = (T_pwm/(4*T_cristal*16))-1;
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_16, PR2, 1);
    setup_ccp1(CCP_PWM); // Configurar PWM en ccp1
    set_pwm1_duty(0); // Dureza de PWM en 0% */

```

```

// Inicializacion de estados de salida. Todo en apagado
bit_clear(pwm); // avance hacia inmersion
bit_clear(sentido); // Por defecto avance
bit_clear(verde);
bit_clear(amarillo);
bit_clear(rojo);
bit_clear(buzzer);
repetir = '2'; // Indica que solicita parametros
// 1, parametros anteriores, 2, parametros nuevos, 3, apagar

lcd_putc('\f');
lcd_gotoxy(1,1);
lcd_putc("DC 136, Bienvenido");
delay_ms(500);
while(repetir=='2'){
    lcd_gotoxy(1,2);
    lcd_putc("Esperando inicio");
    // Presionar cualquier tecla para iniciar
    K=kbd_getc();
    while(K!='\0'){
        K=kbd_getc();
    }
    // Ingreso de parametros
    // vel: 1-19; t: 0-36000; N:1-100
    valor=0;
    while(valor==0 || valor>19){
        lcd_putc('\f');
        lcd_gotoxy(1,1);
        lcd_putc("Introduzca vel in");
        teclado();
    }
    velin = valor;
    valor=0;
    while(valor==0 || valor>19){
        lcd_putc('\f');
        lcd_gotoxy(1,1);
        lcd_putc("Introduzca vel ex");
        teclado();
    }
    velex = valor;
    dutty();
    valor = 40000; // valor fuera de rango para entrar
    while(valor<=36000){
        lcd_putc('\f');
        lcd_gotoxy(1,1);
        lcd_putc("Introduzca t in");
        teclado();
    }
    tin = valor*1000;
}

```

```

valor = 40000; // valor fuera de rango para entrar
while(valor<=36000){
    lcd_putc('\f');
    lcd_gotoxy(1,1);
    lcd_putc("Introduzca t ex");
    teclado();
}
tex = valor*1000;
valor = 0;
while(valor==0 || valor>100){
    lcd_putc('\f');
    lcd_gotoxy(1,1);
    lcd_putc("Introduzca N");
    teclado();
}
N = valor;
while(repetir=='1'){
    // Inicio de operacion
    lcd_putc('\f');
    lcd_gotoxy(1,1);
    lcd_putc("Operando...");
    bit_set(verde);
    cont = 0;
    while(cont<N){
        // velocidad de inmersion
        bit_clear(sentido);
        bit_set(pwm);
        msec=0;
        while(bit_test(parf)){
            if(msec<Ton_in){
                delay_ms(1);
                msec++;
            }
            if(Ton_in<=msec && msec<=periodo){
                delay_ms(1);
                if(msec==periodo){
                    msec=0;
                }
                else{
                    msec++;
                }
            }
        }
    }
    // Tiempo inmersion
    bit_clear(pwm);
    delay_ms(tin);
    // Velocidad de salida
    bit_set(sentido);
    bit_set(pwm);
}

```

```

msec=0;
while(bit_test(pari)){
  if(msec<Ton_ex){
    delay_ms(1);
    msec++;
  }
  if(Ton_ex<=msec && msec<=periodo){
    delay_ms(1);
    if(msec==periodo){
      msec=0;
    }
    else{
      msec++;
    }
  }
}
// Tiempo salida
bit_clear(pwm);
delay_ms(tex);
cont++;
}
alarma_fin();
lcd_putc('\f');
lcd_gotoxy(1,1);
lcd_putc("Nuevo 1 Apagar 3");
lcd_gotoxy(1,2);
lcd_putc("Repetir 2");
K=kbd_getc();
while(K=='\0' && K!='1' && K!='2' && K!='3'){
  K=kbd_getc();
}
}
msec=0;
bit_set(pwm);
while(!bit_test(switche)){
  msec++;
}
bit_clear(pwm);
bit_clear(rojo);
bit_clear(amarillo);
}

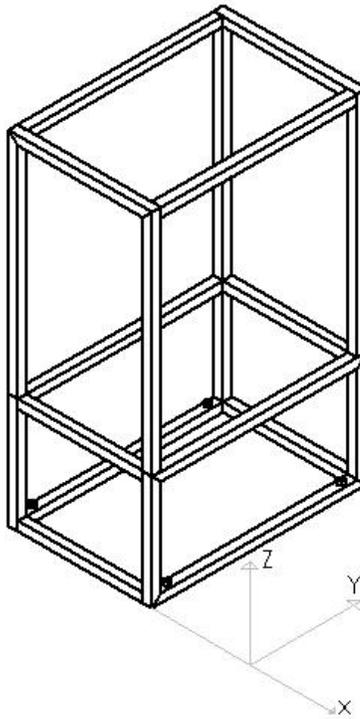
```

IV. Relación de documentos

	PROYECTO DIP COATER 136 DE DOCUMENTOS	RELACIÓN	CÓDIGO: DC136-06
NOMBRE DEL PROYECTO:	DIP COATER 136		
CÓDIGO	NOMBRE DEL FORMATO		
DC136-01	Formato de Planimetría		
DC136-02	Formato de Lista de materiales		
DC136-03	Asignación de códigos referenciales y de planimetría		
DC136-04	Manual de uso Dip Coater 136		
DC136-05	Ficha técnica de Especificaciones Dip Coater 136		
DC136-06	Relación de Documentos		

V. Planimetría y codificación

Para efectos de archivado se definió la codificación de las piezas y de los planos de acuerdo a la distribución física de la planta de montaje del dispositivo siendo la base el punto de referencia donde se encuentran ubicados los ejes.



La notación y la asignación de nombres a los componentes y piezas están designadas de acuerdo al plano donde la pieza exhiba su mayor dimensión. Las piezas que descansan en el plano XY (o paralelos a éste) se denotan como *horizontales* y sobre los planos XZ o YZ (o paralelos a éstos) se designan como *verticales*. Dentro de las piezas horizontales, si la dimensión mayor se encuentra a lo largo del eje X se denota *longitudinal*, si por el contrario se encuentra sobre el eje Y se denota como *transversal*.

Respecto a la codificación se respeta la notación de acuerdo a la discriminación por sub ensambles. Un consecutivo respectivo y una referencia nominal para la pieza y a su vez ésta le concede la numeración al plano de detalle.

NOTA: Todos los códigos de planos van precedidos de una cifra que determina la característica del plano como lo indica la columna.

Número	Característica
1	General (planta, alzado, lateral)
2	Montaje o ensamblaje
3	Taller o detalle
4	Catálogo

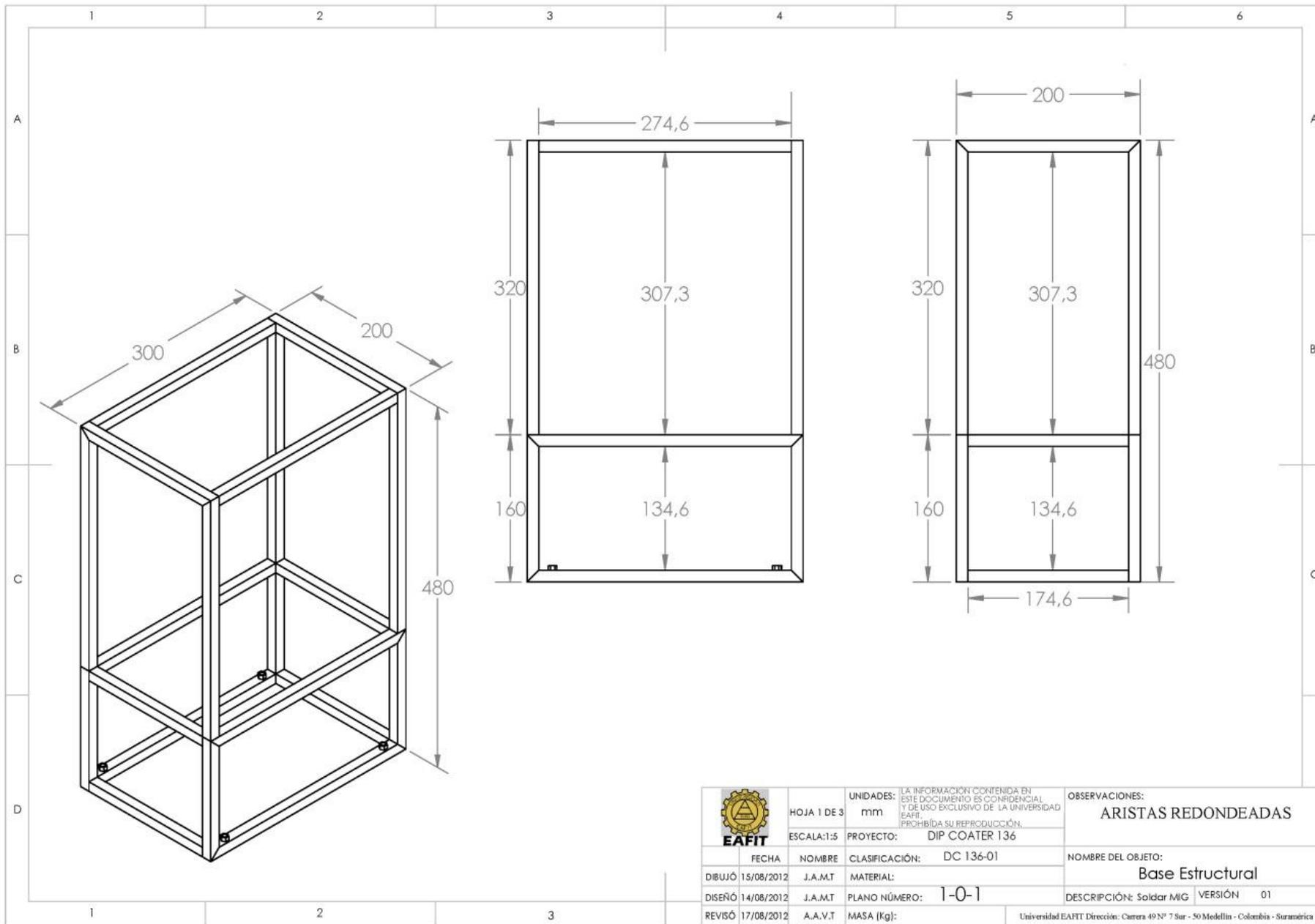
A continuación se muestra la tabla referencial de todos los componentes del DC136.

		PROYECTO DIP COATER 136 ASIGNACIÓN DE CÓDIGOS DE REFERENCIA Y PLANIMETRÍA		CÓDIGO: DC136-03		
Numeración	CÓDIGO	Nombre componente	Tipo	Consecutivo	numerado	REFERENCIA
0	0	DC136	Ensamble	0	0	0-0
1	1	Base Estructural	Ensamble	0	-1	0-1
2	10	Superior	Ensamble	0	-10	0-10
3	101	Cubierta superior	Pieza	1	-101	1-101
4	102	Tapa de Cubierta superior	Pieza	1	-102	1-102
5	103	Bisagra	Pieza	1	-103	1-103
6	104	Cierre magnético	Pieza	1	-104	1-104
7	105	Display	Pieza	1	-105	1-105
8	106	Teclado Alfanumérico	Pieza	1	-106	1-106
9	11	Central	Ensamble	0	-11	0-11
10	111	Vertical Base Central	Pieza	1	-111	1-111
11	112	Longitudinal Base Central	Pieza	1	-112	1-112
12	113	Transversal Base Central	Pieza	1	-113	1-113
13	114	Marco de puerta	Pieza	1	-114	1-114
14	115	Empaque de marco de puerta	Pieza	1	-115	1-115
15	116	Tapa Posterior Central	Pieza	1	-116	1-116
16	117	Tapa Lateral derecha	Pieza	1	-117	1-117
17	118	Tapa Lateral izquierda	Pieza	1	-118	1-118
18	119	Puerta Cámara	Pieza	1	-119	1-119
19	120	Bisagras Puerta Cámara	Pieza	1	-120	1-120
20	121	Manija Puerta	Pieza	1	-121	1-121
21	122	Cierre magnético Puerta Central	Pieza	1	-122	1-122

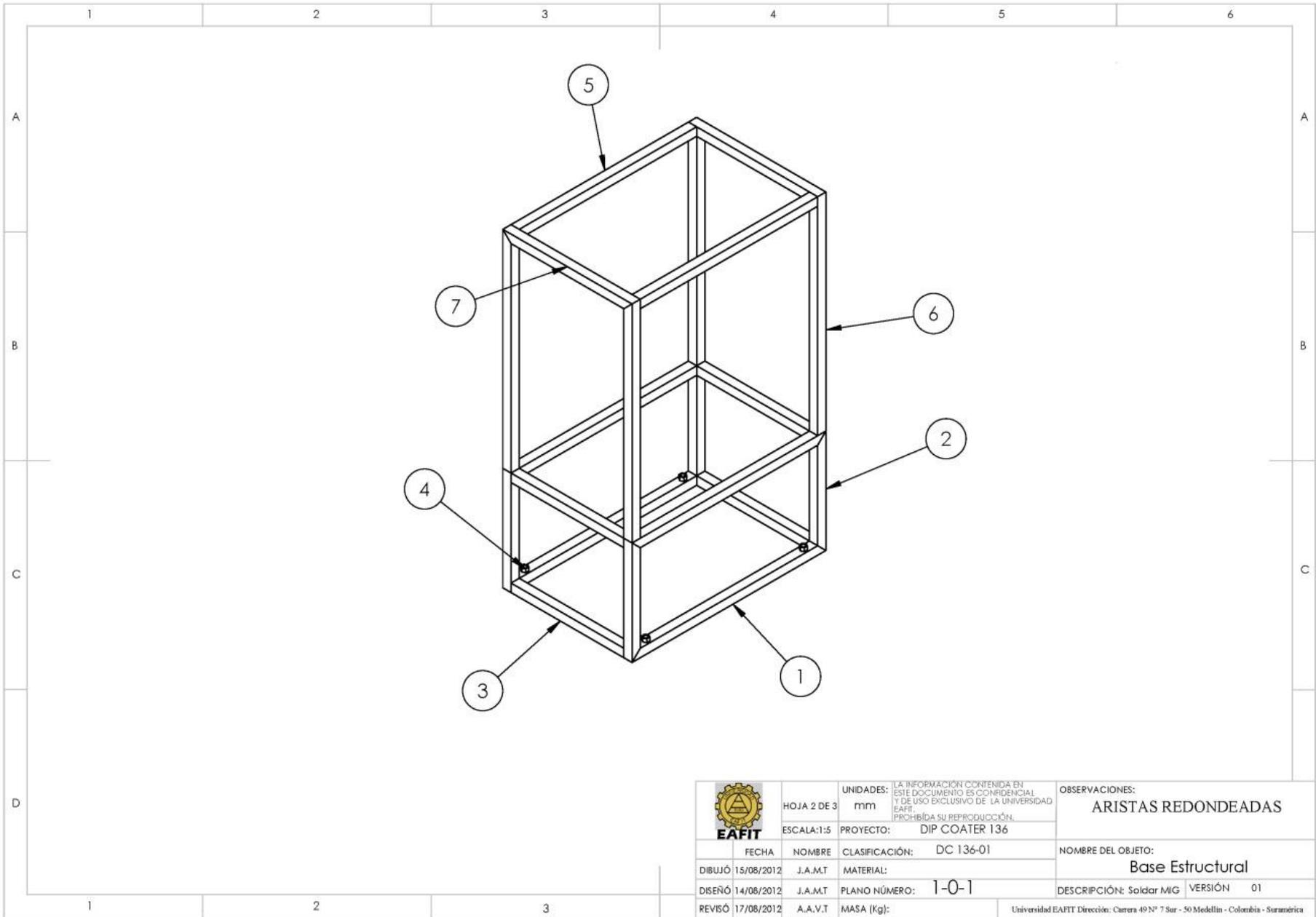
22	123	Ducto para cables	Pieza	1	-123	1-123
23	124	Racor	Pieza	1	-124	1-124
24	125	Haladera	Pieza	1	-125	1-125
25	12	Inferior	Ensamble	0	-12	0-12
26	121	Transversal Base inferior	Pieza	1	-121	1-121
27	122	Vertical Base inferior	Pieza	1	-122	1-122
28	123	Longitudinal Base Inferior	Pieza	1	-123	1-123
29	124	Tuerca de Seguridad	Pieza	1	-124	1-124
30	125	Pines roscados	Pieza	1	-125	1-125
31	126	Tapa lateral	Pieza	1	-126	1-126
32	127	Tapa Posterior Inferior	Pieza	1	-127	1-127
33	128	Nivel	Pieza	1	-128	1-128
34	129	Porta nivel	Pieza	1	-129	1-129
35	130	Omega del motor	Pieza	1	-130	1-130
36	131	Tapa Frontal Inferior	Pieza	1	-131	1-131
37	132	Tapa inferior	Pieza	1	-132	1-132
38	2	Tapas seccionadoras	Ensamble	0	-2	0-2
39	21	Tapa Seccionadora Superior	Pieza	1	-21	1-21
40	22	Tapa Seccionadora Inferior	Pieza	1	-22	1-22
41	3	Mecanismo Principal	Ensamble	0	-3	0-3
42	31	Tornillo principal	Pieza	1	-31	1-31
43	32	Sujetador 1	Pieza	1	-32	1-32
44	33	Sujetador 2	Pieza	1	-33	1-33
45	34	L porta ganchos	Pieza	1	-34	1-34
46	35	Gancho porta sustratos	Pieza	1	-35	1-35
47	36	Eje Guía	Pieza	1	-36	1-36
48	37	Contenedor	Pieza	1	-37	1-37
49	38	Motor	Pieza	1	-38	1-38
50	39	Eje media caña	Pieza	1	-39	1-39
51	40	Rodamiento	Pieza	1	-40	1-40
52	41	Contenedor rectangular	Pieza	1	-41	1-41
53	42	Contenedor circular	Pieza	1	-42	1-42

A continuación se relaciona una tabla que contiene los códigos y el nombre de cada uno de los planos generados.

CÓDIGO	REFERENCIA
1-0-1	Base estructural
1-0-3	Mecanismo principal
1-0-12	Base estructural inferior
2-0-0	Ensamble general MONTAJE
2-0-3	Mecanismo principal MONTAJE
2-012	Base estructural inferior MONTAJE
3-1-32	Sujetador 2
3-1-33	Sujetador 1
3-1-36	Eje guía
3-1-39	Eje media caña
3-1-101	Cubierta superior
3-1-102	Tapa superior trasera
3-1-114	Marco puerta
3-1-116	Tapa posterior base central
3-1-117	Tapa lateral derecha
3-1-118	Tapa lateral izquierda
3-1-119	Puerta cámara
3-1-123	Ducto para cables
3-1-126	Tapas laterales base inferior
3-1-127	Tapa posterior base inferior
3-1-129	Base nivel
3-1-130	Omega motor
3-1-131	Tapa frontal inferior
3-121	Tapa seccionadora superior
3-122	Tapa seccionadora inferior
3-132	Tapa inferior base inferior



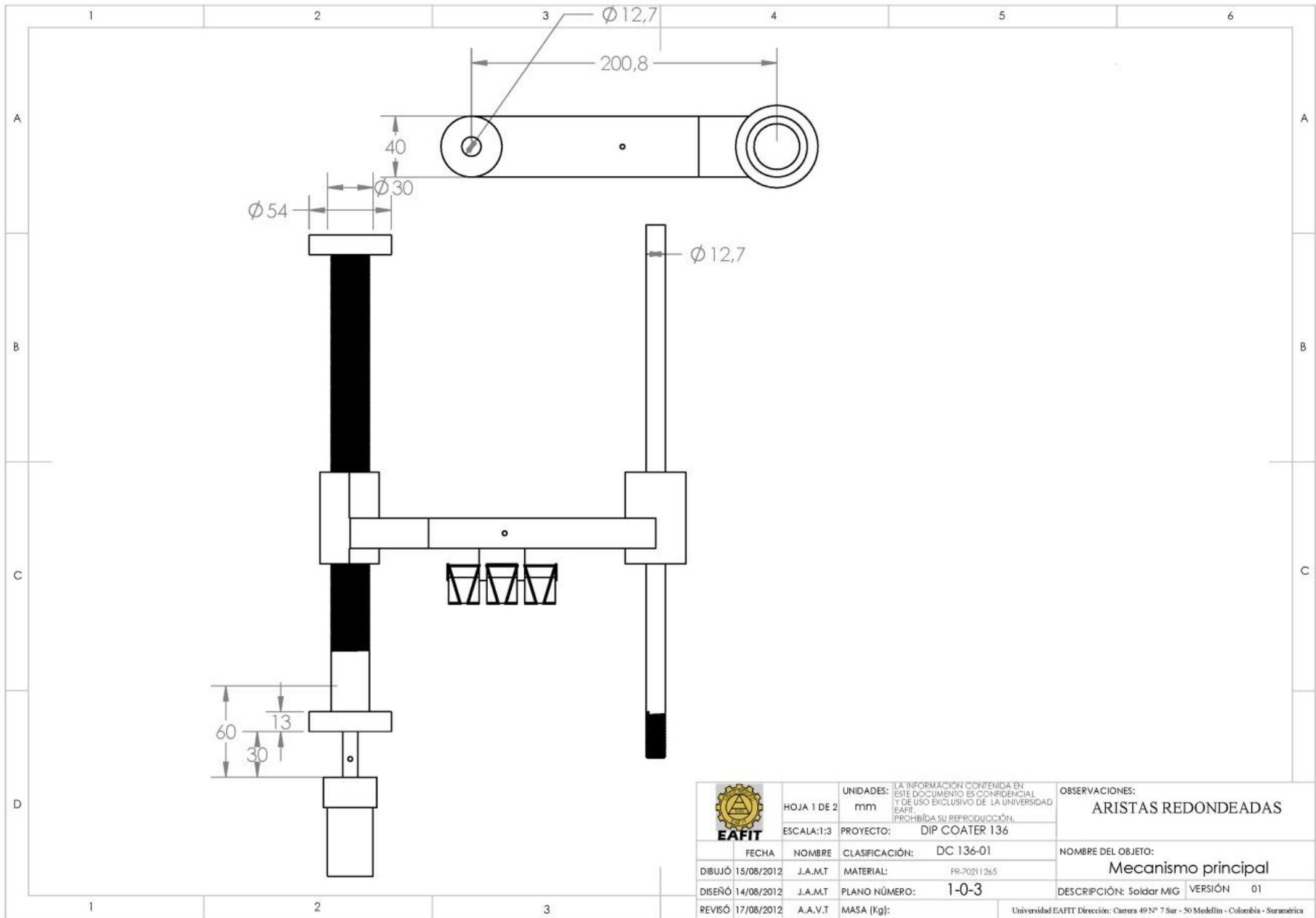
	UNIDADES: LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.		OBSERVACIONES: ARISTAS REDONDEADAS
	HOJA 1 DE 3 ESCALA: 1:5	mm PROYECTO: DIP COATER 136	
FECHA: 15/08/2012 DISEÑO: 14/08/2012 REVISÓ: 17/08/2012	NOMBRE: J.A.M.T A.A.V.T	CLASIFICACIÓN: DC 136-01 PLANO NÚMERO: 1-0-1 MASA (Kg):	DESCRIPCIÓN: Soldar MIG VERSIÓN 01
Universidad EAFIT Dirección: Carrera 49 N° 7 Sur - 50 Medellín - Colombia - Suramérica			

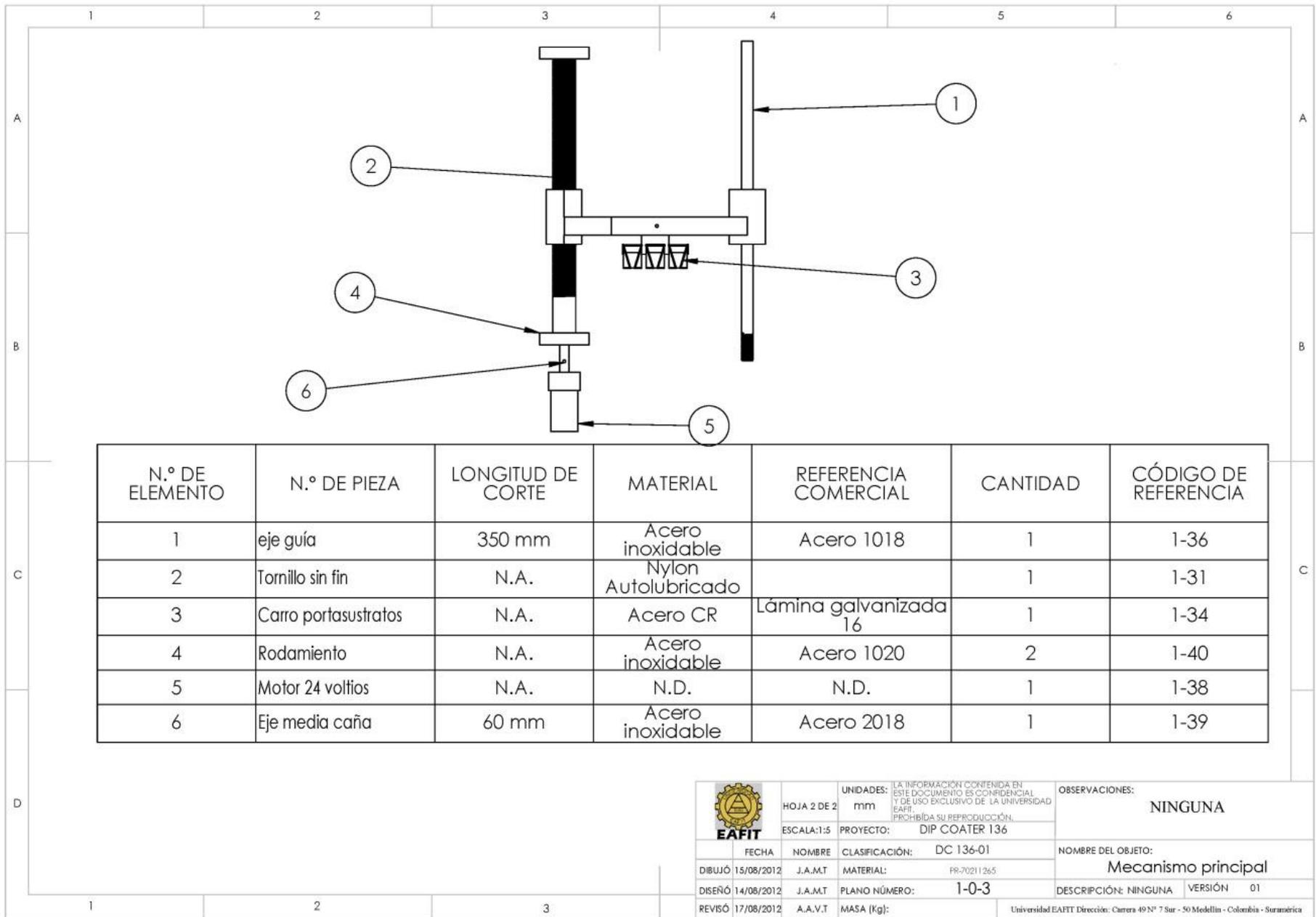


	HOJA 2 DE 3	UNIDADES: mm	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.	OBSERVACIONES:
	ESCALA: 1:5	PROYECTO: DIP COATER 136		ARISTAS REDONDEADAS
FECHA	NOMBRE	CLASIFICACIÓN: DC 136-01	NOMBRE DEL OBJETO:	
DIBUJÓ 15/08/2012	J.A.M.T	MATERIAL:	Base Estructural	
DISEÑO 14/08/2012	J.A.M.T	PLANO NÚMERO: 1-0-1	DESCRIPCIÓN: Soldar MIG	VERSIÓN 01
REVISÓ 17/08/2012	A.A.V.T	MASA (Kg):	Universidad EAFIT Dirección: Carrera 49 N° 7 Sur - 50 Medellín - Colombia - Suramérica	

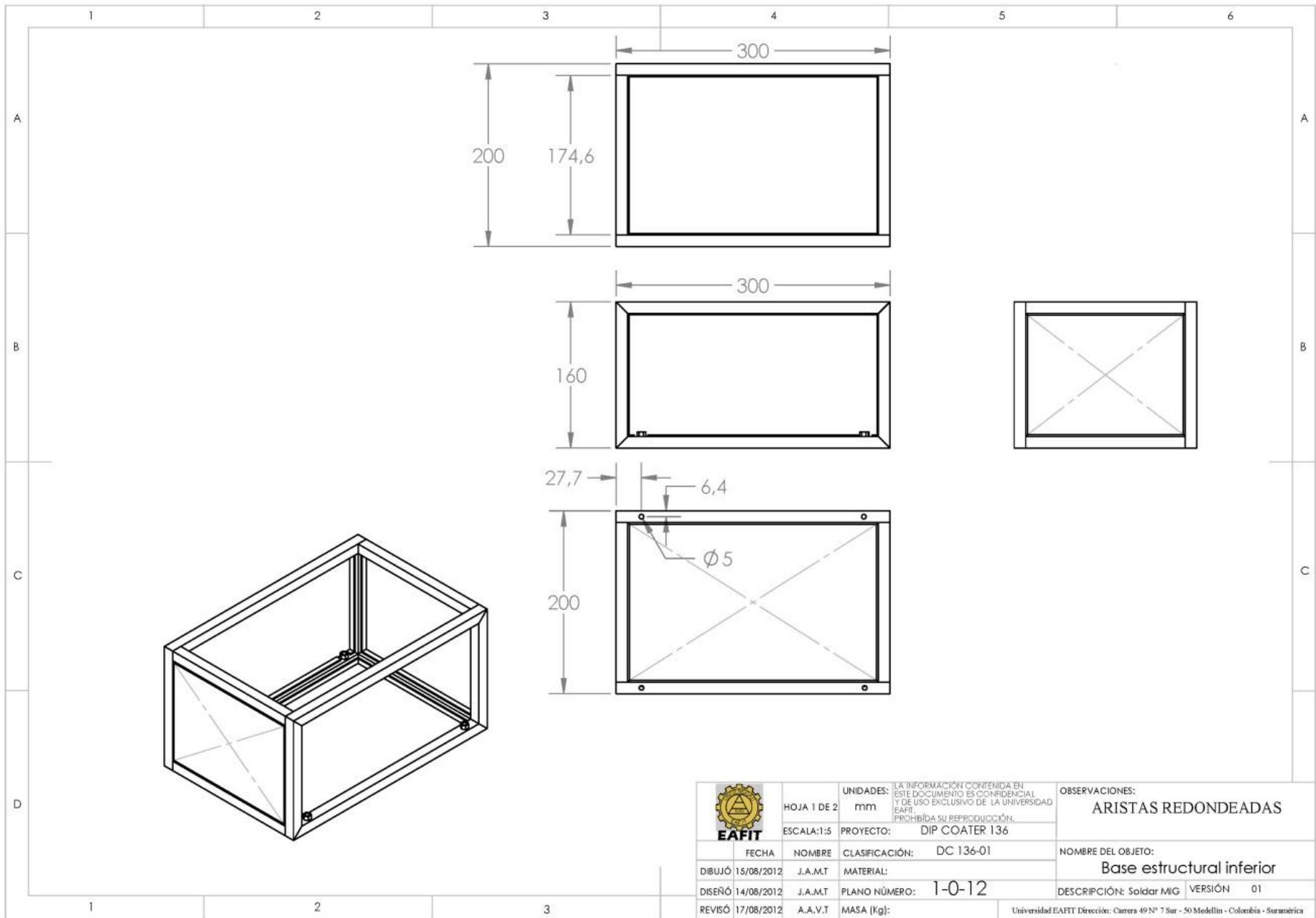
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	LONGITUD DE CORTE	MATERIAL	REFERENCIA COMERCIAL	CANTIDAD	CÓDIGO DE REFERENCIA
1	Transversal Base inferior	300 mm	Acero 1045	Tubo Cuadrado CR 1/2" Cal. 16	4	1-121
2	Vertical Base inferior	160 mm	Acero 1045	Tubo Cuadrado CR 1/2" Cal. 16	4	1-122
3	Horizontal Longitudinal Base inferior	174.6 mm	Acero 1045	Tubo Cuadrado CR 1/2" Cal. 16	4	1-123
4	Tuercas niveladores	N.A.	Acero	Tuerca 1/8" Grado 2 de seguridad	4	1-124
5	Horizontal transversal Base Central	274.6 mm	Acero 1045	Tubo Cuadrado CR 1/2" Cal. 16	2	1-113
6	Vertical base central	320 mm	Acero 1045	Tubo Cuadrado CR 1/2" Cal. 16	4	1-111
7	Horizontal base central	200 mm	Acero 1045	Tubo Cuadrado CR 1/2" Cal. 16	2	1-112

	UNIDADES:	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.	OBSERVACIONES: NINGUNA
	HOJA 3 DE 3	mm	
ESCALA:1:5	PROYECTO:	DIP COATER 136	NOMBRE DEL OBJETO: Base Estructural
FECHA	NOMBRE	CLASIFICACIÓN: DC 136-01	DESCRIPCIÓN:
DIBUJÓ 09/11/2012	J.A.MT	MATERIAL:	VERSIÓN 01
DISEÑÓ 09/11/2012	J.A.MT	PLANO NÚMERO:	
REVISÓ 09/11/2012	A.A.V.T	MASA (Kg):	Universidad EAFIT Dirección: Carrera 49N° 7 Sur - 50 Medellín - Colombia - Suramérica

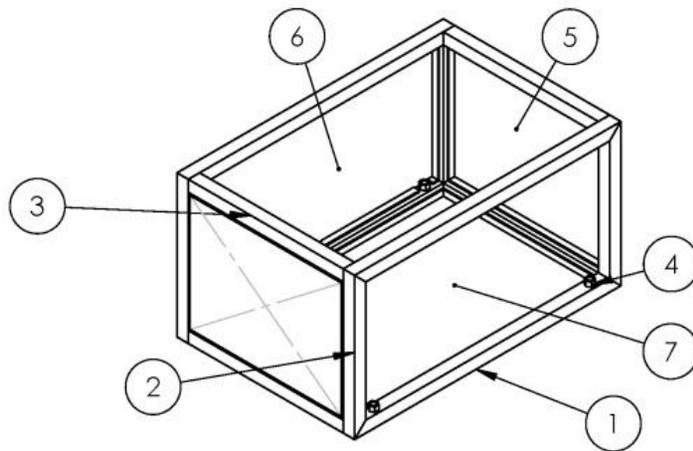




	UNIDADES:	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.	OBSERVACIONES: NINGUNA
	HOJA 2 DE 2	mm	
ESCALA:1:5	PROYECTO:	DIP COATER 136	NOMBRE DEL OBJETO: Mecanismo principal
FECHA	NOMBRE	CLASIFICACIÓN:	DC 136-01
DIBUJÓ 15/08/2012	J.A.M.T	MATERIAL:	PR-70211265
DISEÑÓ 14/08/2012	J.A.M.T	PLANO NÚMERO:	1-0-3
REVISÓ 17/08/2012	A.A.V.T	MASA (Kg):	DESCRIPCIÓN: NINGUNA VERSIÓN 01
			Universidad EAFIT Dirección: Carrera 49N° 7 Sur - 50 Medellín - Colombia - Suramérica



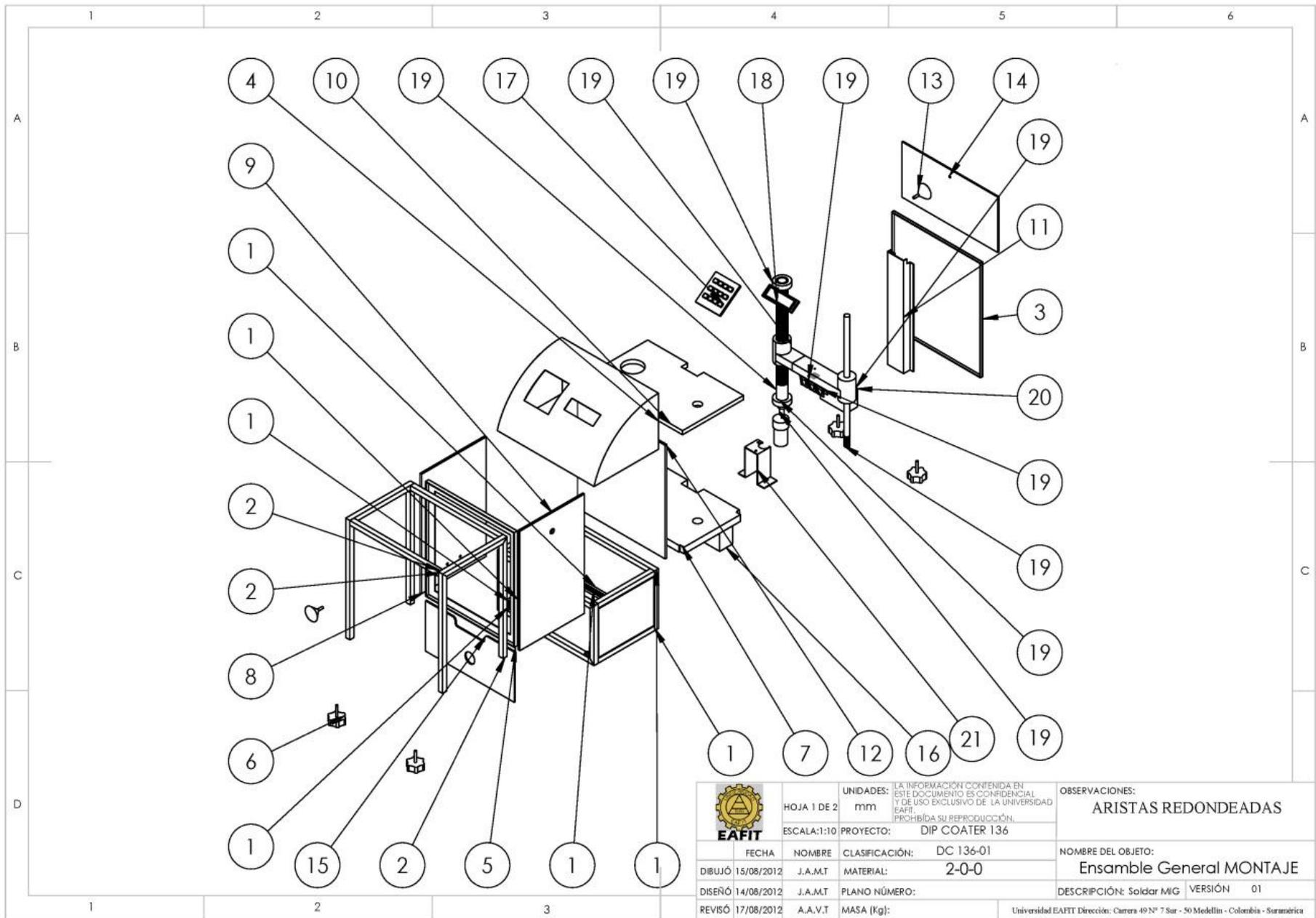
	HOJA 1 DE 2	UNIDADES: mm	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.	OBSERVACIONES:
	ESCALA: 1:5	PROYECTO: DIP COATER 136		ARISTAS REDONDEADAS
FECHA	NOMBRE	CLASIFICACIÓN:	DC 136-01	NOMBRE DEL OBJETO:
DIBUJÓ 15/08/2012	J.A.M.T	MATERIAL:		Base estructural inferior
DISEÑÓ 14/08/2012	J.A.M.T	PLANO NÚMERO:	1-0-12	DESCRIPCIÓN: Soldar MIG
REVISÓ 17/08/2012	A.A.V.T	MASA (Kg):		VERSIÓN 01
				Universidad EAFIT Dirección: Carrera 49N° 7 Sur - 50 Medellín - Colombia - Suramérica



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	LONGITUD DE CORTE	MATERIAL	REFERENCIA COMERCIAL	CANTIDAD	CÓDIGO DE REFERENCIA
1	Transversal Base inferior	300 mm	Acero 1045	Tubo Cuadrado CR 1/2" Cal. 16	4	1-121
2	Vertical Base inferior	160 mm	Acero 1045	Tubo Cuadrado CR 1/2" Cal. 16	4	1-122
3	Horizontal Longitudinal Base inferior	174.6 mm	Acero 1045	Tubo Cuadrado CR 1/2" Cal. 16	4	1-123
4	Tuercas niveladores	N.A.	Acero	Tuerca 1/8" Grado 2 de seguridad	4	1-124
5	Tapas laterales Base inferior	175 mm	Acero CR	Lámina Acero Galvanizado CR Cal. 16	2	1-126
6	Tapas Posterior Base inferior	275 mm	Acero CR	Lámina Acero Galvanizado CR Cal. 16	1	1-127
7	Tapas inferior Base inferior	275 mm	Acero CR	Lámina Acero Galvanizado CR Cal. 16	1	1-132



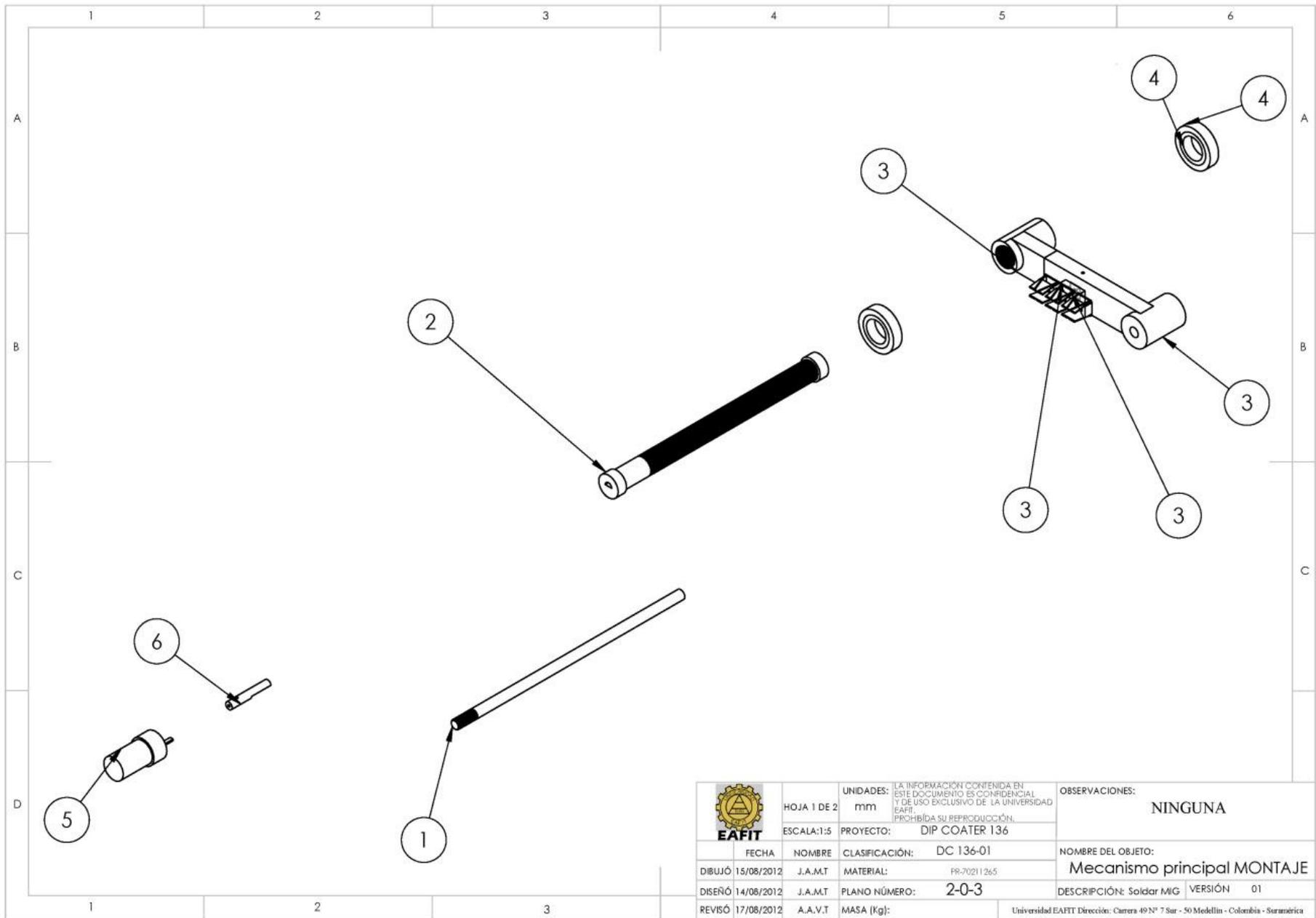
UNIDADES: mm		LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.		OBSERVACIONES:	
HOJA 2 DE 2	ESCALA: 1:5	PROYECTO:	DIP COATER 136	ARISTAS REDONDEADAS	
FECHA:	NOMBRE:	CLASIFICACIÓN:	DC 136-01	NOMBRE DEL OBJETO:	
DIBUJÓ 15/08/2012	J.A.M.T	MATERIAL:		Base estructural inferior	
DISEÑÓ 14/08/2012	J.A.M.T	PLANO NÚMERO:	1-0-12	DESCRIPCIÓN:	Soldar MIG
REVISÓ 17/08/2012	A.A.V.T	MASA (Kg):		VERSIÓN	01



	UNIDADES:	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.		OBSERVACIONES: ARISTAS REDONDEADAS
	HOJA 1 DE 2	mm	PROYECTO: DIP COATER 136	
ESCALA: 1:10	FECHA	NOMBRE	CLASIFICACIÓN: DC 136-01	NOMBRE DEL OBJETO: Ensamble General MONTAJE
DISEÑO 14/08/2012	J.A.M.T	MATERIAL: 2-0-0	DESCRIPCIÓN: Soldar MIG	VERSIÓN 01
REVISÓ 17/08/2012	A.A.V.T	PLANO NÚMERO:	UNIVERSIDAD EAFIT	
		MASA (Kg):	Universidad EAFIT Dirección: Carrera 49N° 7 Sur - 50 Medellín - Colombia - Suramérica	

1	2	3	4	5	6	
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	LONGITUD DE CORTE	MATERIAL	REFERENCIA COMERCIAL	CANTIDAD	CÓDIGO DE REFERENCIA
1	Base estructural inferior	N.A.	Acero CR	Tubo cuadrado CR 1/2" Cal 16	1	0-12
2	Base Central	N.A.	Acero CR	Tubo cuadrado CR 1/2" Cal 16	1	0-11
3	Tapas Posterior Base Central	275 mm	Acero CR	Lámina Acero galvanizado CR Cal 16	1	1-116
4	Cubierta superior	N.A.	Acero CR	Lámina Acero galvanizado CR Cal 16	1	1-101
5	Marco puerta	N.A.	Acero CR	Lámina Acero galvanizado CR Cal 16	1	1-114
6	Pines	N.A.		Remates roscados 35 mm	4	1-125
7	Tapa seccionadora inferior	300	Resina poimérica	OXDF-113M	1	1-22
8	Tapa lateral izquierda	320 mm	Policarbonato	VG5-613-CCS	1	1-118
9	Tapa lateral derecha	320 mm	Policarbonato	VG5-613-CCS	1	1-117
10	Tapa seccionadora superior	297 mm	Resina Polimérica	OXDF-113M	1	1-21
11	Ducto para cables	302 mm	Acero CR	Lámina Acero Galvanizado CR Calibre 16	1	1-123
12	Puerta Cámara	320 mm	Policarbonato	VG5-613-CCS	1	1-119
13	Haladera	N.A.	Aluminio	Haladera Aluminio vivo	2	1-125
14	Tapa Superior Trasera	297 mm	Policarbonato	PCT-1030	1	1-102
15	Tapa Frontal inferior	275 mm	Policarbonato	PCT-1030	1	1-131
16	Base Nivel	N.A.	Acero CR	Lámina Acero galvanizado CR Cal 16	1	1-129
17	Teclado	N.A.		Teclado 3x4	1	1-106
18	LCD	N.A.		Display de 8 líneas	1	1-105
19	Montaje carro 1	N.A.	Nylon Autolubricado	PR-70211265	1	0-3
20	contenedor rectangular	N.A.	Resina polimérica	PCT-221	1	1-137
21	Omega Motor	240 mm	Acero CR	Lámina Acero galvanizado CR Cal 16	1	1-130

 EAFIT	HOJA 2 DE 2	UNIDADES: mm	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.		OBSERVACIONES: ARISTAS REDONDEADAS
	ESCALA:1:10	PROYECTO: DIP COATER 136			
	FECHA: 15/08/2012	NOMBRE: J.A.MT	CLASIFICACIÓN: DC 136-01	NOMBRE DEL OBJETO: Ensamble General MONTAJE	
	DISEÑO: 14/08/2012	J.A.MT	MATERIAL:		
REVISÓ: 17/08/2012	A.A.V.T	PLANO NÚMERO:	DESCRIPCIÓN: Soldar MIG	VERSIÓN: 01	
		MASA (Kg):	Universidad EAFIT Dirección: Carrera 49N° 7 Sur - 50 Medellín - Colombia - Suramérica		

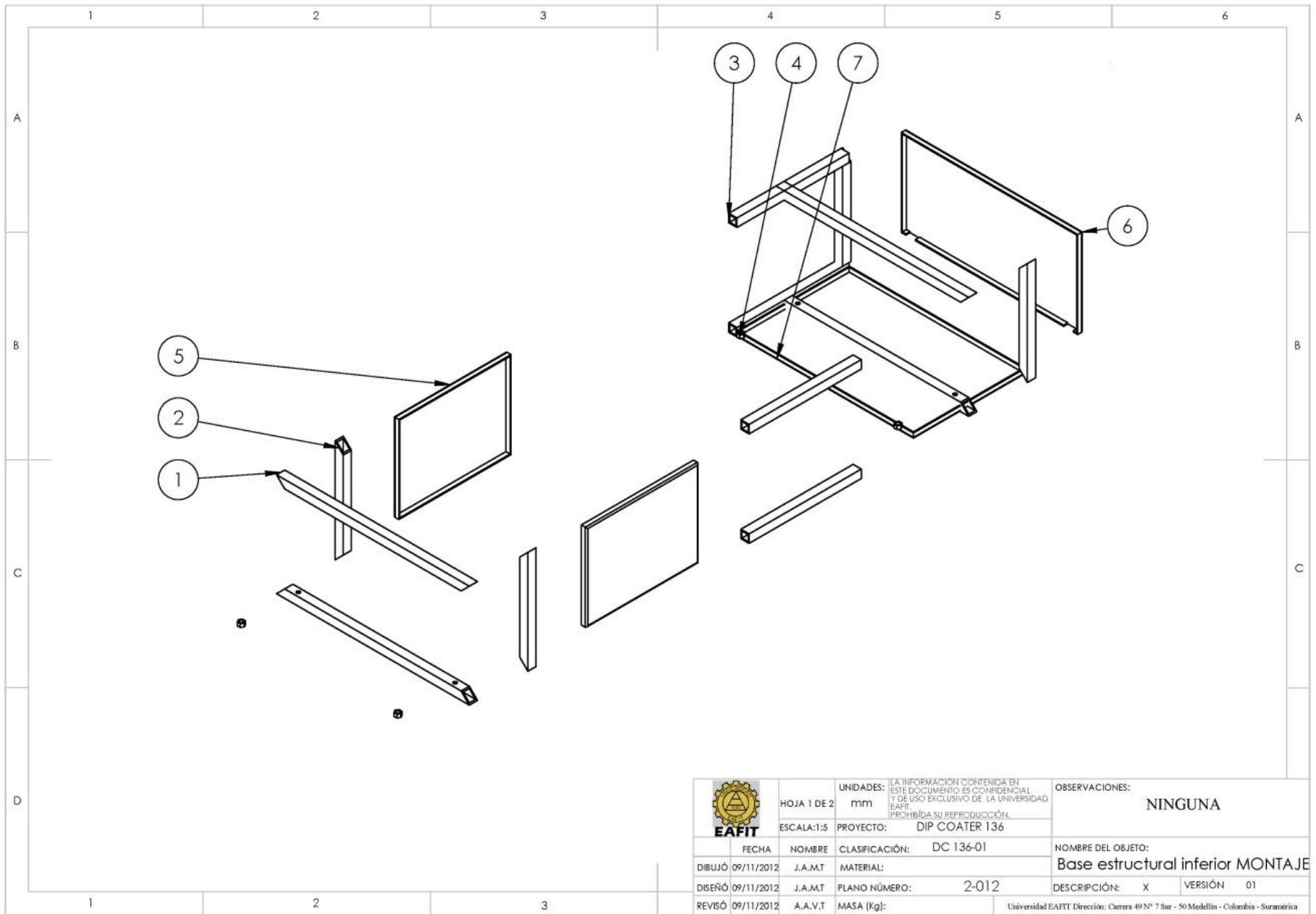


	HOJA 1 DE 2	UNIDADES: mm	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.	OBSERVACIONES: NINGUNA
	ESCALA:1:5	PROYECTO: DIP COATER 136		
FECHA	NOMBRE	CLASIFICACIÓN:	DC 136-01	NOMBRE DEL OBJETO: Mecanismo principal MONTAJE
DIBUJÓ 15/08/2012	J.A.M.T	MATERIAL:	PR-70211265	DESCRIPCIÓN: Soldar MIG
DISERÓ 14/08/2012	J.A.M.T	PLANO NÚMERO:	2-0-3	VERSIÓN 01
REVISÓ 17/08/2012	A.A.V.T	MASA (Kg):		Universidad EAFIT Dirección: Carrera 49 N° 7 Sur - 50 Medellín - Colombia - Suramérica

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	LONGITUD DE CORTE	MATERIAL	REFERENCIA COMERCIAL	CANTIDAD	CÓDIGO DE REFERENCIA
1	eje guía	350 mm	Acero inoxidable	Acero 1018	1	1-36
2	Tornillo sin fin	N.A.	Nylon Autolubricado		1	1-31
3	Carro portasustratos	N.A.	Acero CR	Lámina galvanizada 16	1	1-34
4	Rodamiento	N.A.	Acero inoxidable	Acero 1020	2	1-40
5	Motor 24 voltios	N.A.	N.D.	N.D.	1	1-38
6	Eje media caña	60 mm	Acero inoxidable	Acero 2018	1	1-39

	UNIDADES:	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.		OBSERVACIONES: NINGUNA
	HOJA 2 DE 2	mm	PROYECTO: DIP COATER 136	
FECHA	NOMBRE	CLASIFICACIÓN:	DC 136-01	NOMBRE DEL OBJETO:
DIBUJÓ 15/08/2012	J.A.M.T	MATERIAL:		Mecanismo principal MONTAJE
DISEÑÓ 14/08/2012	J.A.M.T	PLANO NÚMERO:	2-0-3	DESCRIPCIÓN: NINGUNA
REVISÓ 17/08/2012	A.A.V.T	MASA (Kg):		VERSIÓN 01

Universidad EAFIT Dirección: Carrera 49N° 7 Sur - 50 Medellín - Colombia - Suramérica

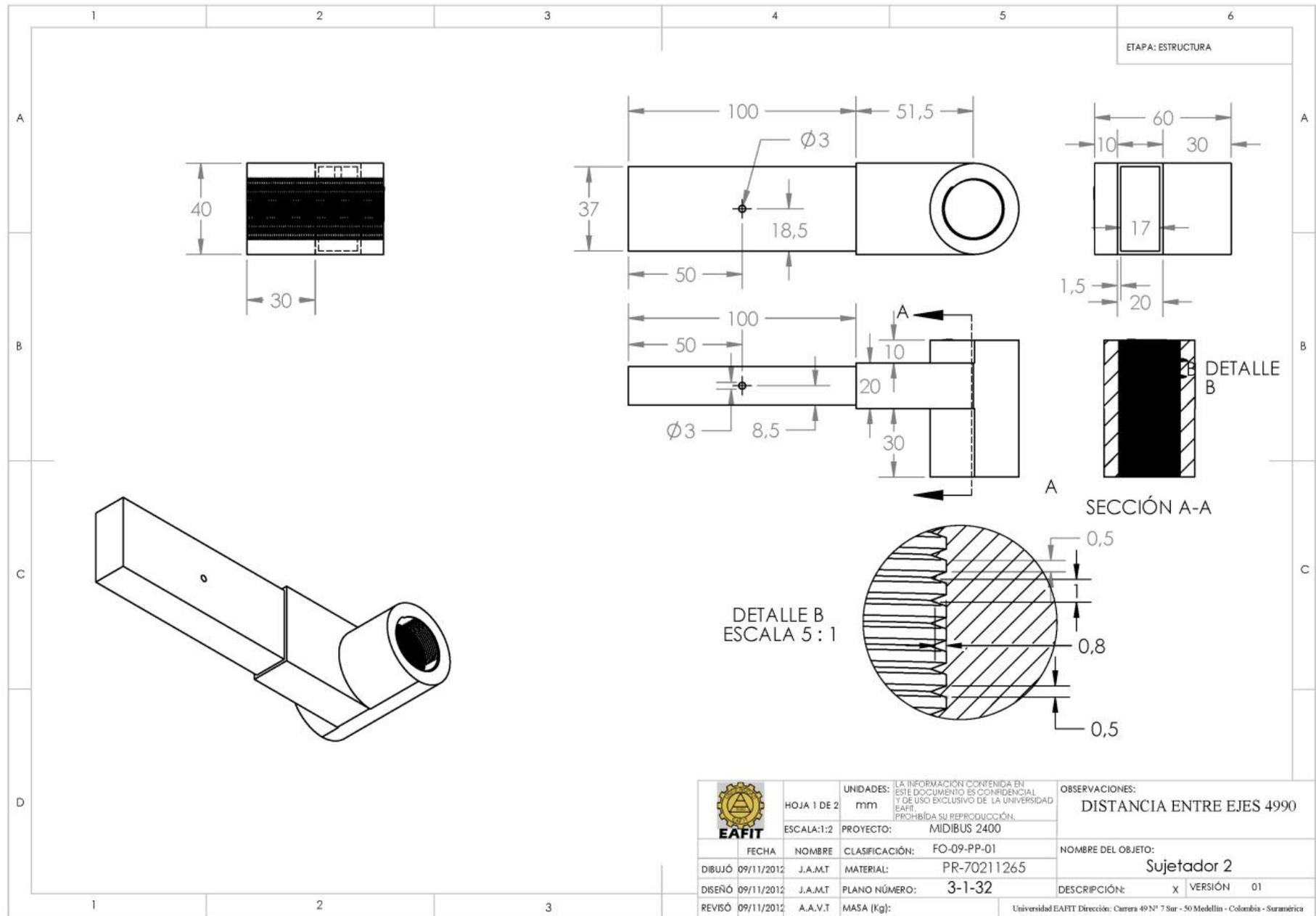


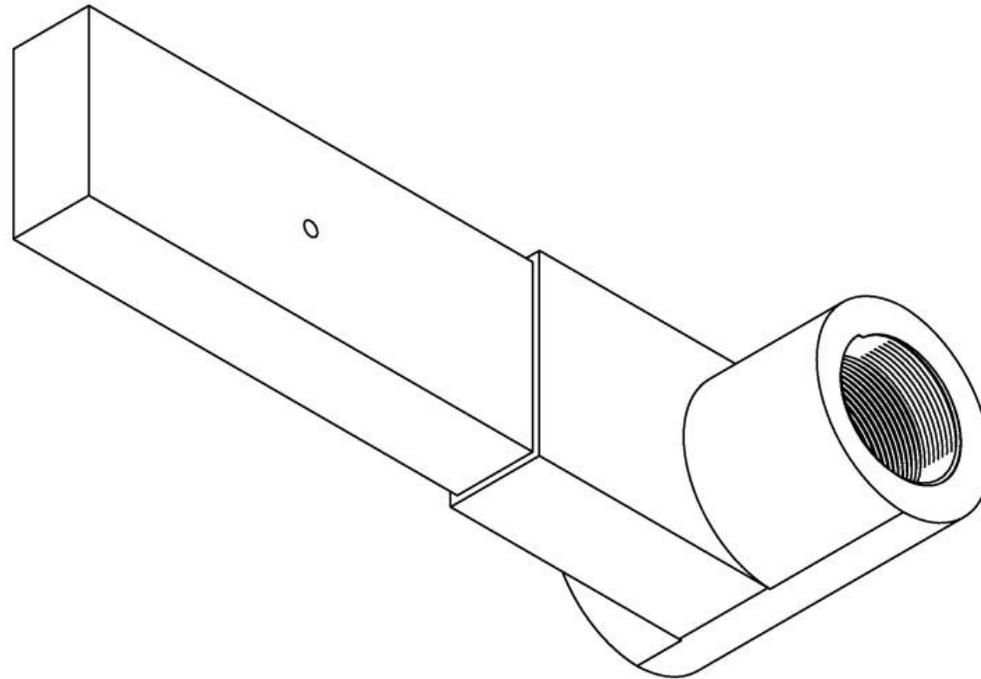
	HOJA 1 DE 2	UNIDADES: mm	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.	OBSERVACIONES: NINGUNA
	ESCALA: 1:5	PROYECTO: DIP COATER 136		
FECHA	NOMBRE	CLASIFICACIÓN: DC 136-01	NOMBRE DEL OBJETO: Base estructural inferior MONTAJE	
DIBUJÓ 09/11/2012	J.A.M.T	MATERIAL:	DESCRIPCIÓN: X	VERSIÓN 01
DISEÑÓ 09/11/2012	J.A.M.T	PLANO NÚMERO: 2-012		
REVISÓ 09/11/2012	A.A.V.T	MASA (Kg):	Universidad EAFIT Dirección: Carrera 49 N° 7 Sur - 50 Medellín - Colombia - Suramérica	

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	LONGITUD DE CORTE	MATERIAL	REFERENCIA COMERCIAL	CANTIDAD	CÓDIGO DE REFERENCIA
1	Transversal Base inferior	300 mm	Acero 1045	Tubo Cuadrado CR 1/2" Cal. 16	4	1-121
2	Vertical Base inferior	160 mm	Acero 1045	Tubo Cuadrado CR 1/2" Cal. 16	4	1-122
3	Horizontal Longitudinal Base inferior	174.6 mm	Acero 1045	Tubo Cuadrado CR 1/2" Cal. 16	4	1-123
4	Tuercas niveladores	N.A.	Acero	Tuerca 1/8" Grado 2 de seguridad	4	1-124
5	Tapas laterales Base inferior	175 mm	Acero CR	Lámina Acero Galvanizado CR Cal. 16	2	1-126
6	Tapas Posterior Base inferior	275 mm	Acero CR	Lámina Acero Galvanizado CR Cal. 16	1	1-127
7	Tapas inferior Base inferior	275 mm	Acero CR	Lámina Acero Galvanizado CR Cal. 16	1	1-132

	HOJA 2 DE 2	UNIDADES: mm	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.	OBSERVACIONES: ARISTAS REDONDEADAS
	ESCALA: 1:5	PROYECTO: DIP COATER 136		
FECHA	NOMBRE	CLASIFICACIÓN:	DC 136-01	NOMBRE DEL OBJETO:
DIBUJÓ 15/08/2012	J.A.M.T	MATERIAL:		Base estructural inferior MONTAJE
DISEÑÓ 14/08/2012	J.A.M.T	PLANO NÚMERO:		DESCRIPCIÓN: Soldar MIG
REVISÓ 17/08/2012	A.A.V.T	MASA (Kg):		VERSIÓN 01

Universidad EAFIT Dirección: Carrera 49 N° 7 Sur - 50 Medellín - Colombia - Suramérica



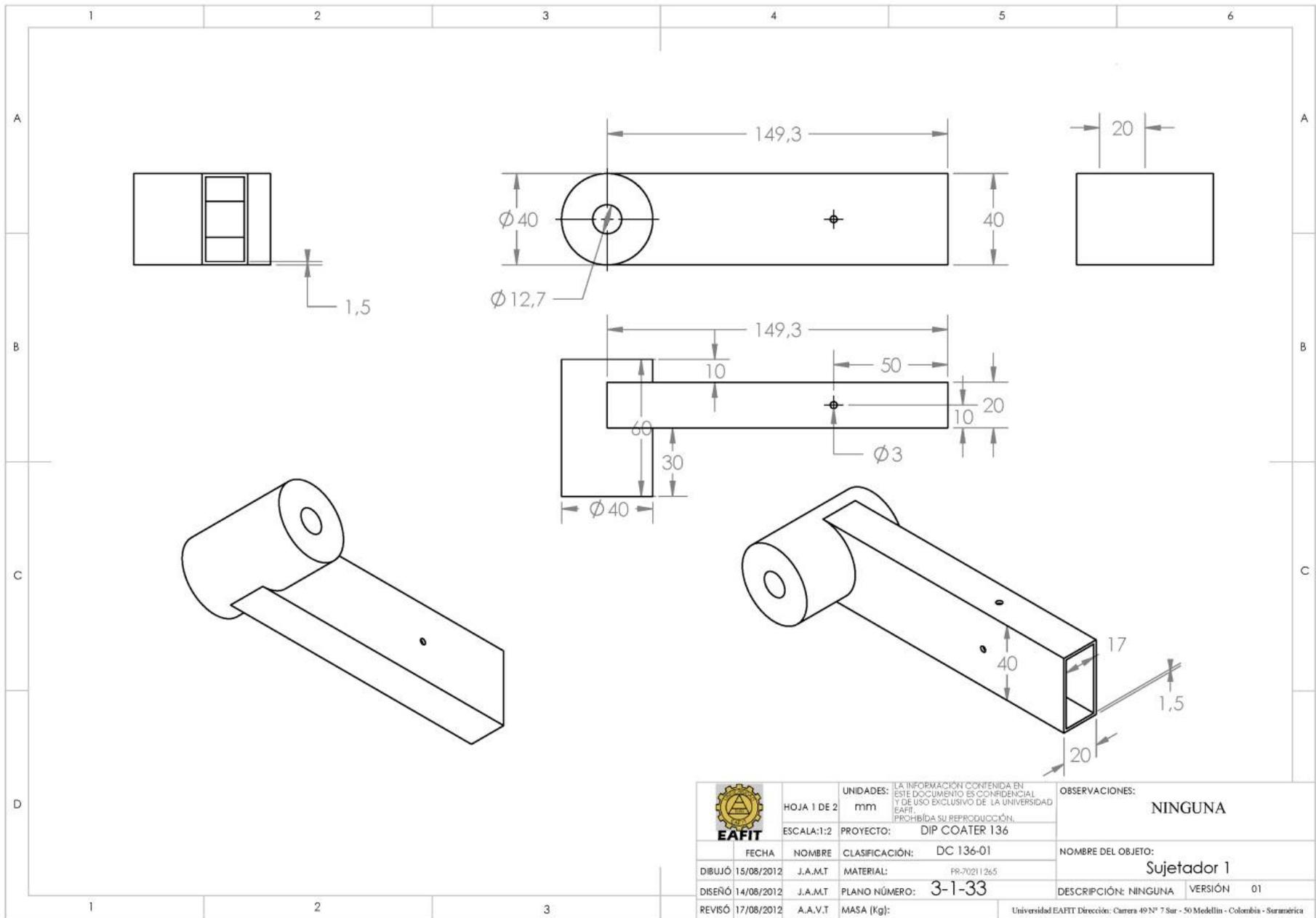


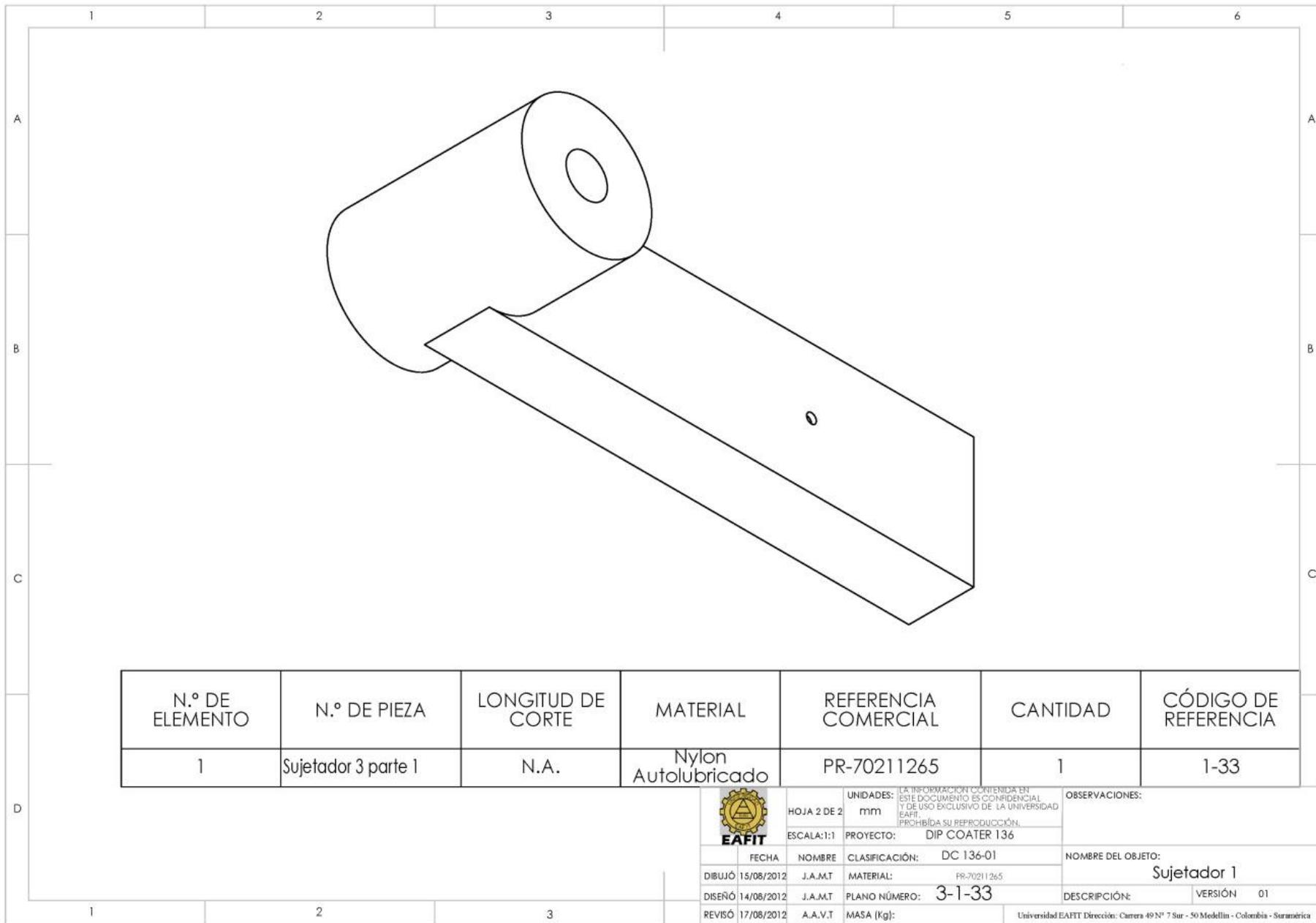
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	LONGITUD DE CORTE	MATERIAL	REFERENCIA COMERCIAL	CANTIDAD	CÓDIGO DE REFERENCIA
1	Sujetador 2	N.A.	Nylon autolubricado	PR-70211265	1	1-32



UNIDADES:	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.		OBSERVACIONES: ARISTAS REDONDEADAS
HOJA 2 DE 2	mm	PROYECTO: DIP COATER 136	
ESCALA:1:1	FECHA	NOMBRE	CLASIFICACIÓN: DC 136-01
	DIBUJÓ 15/08/2012	J.A.M.T	MATERIAL: PR-70211265
	DISEÑO 14/08/2012	J.A.M.T	PLANO NÚMERO: 3-1-32
	REVISÓ 17/08/2012	A.A.V.T	MASA (Kg):
			NOMBRE DEL OBJETO: Sujetador 2
			DESCRIPCIÓN: Soldar MIG VERSIÓN 01

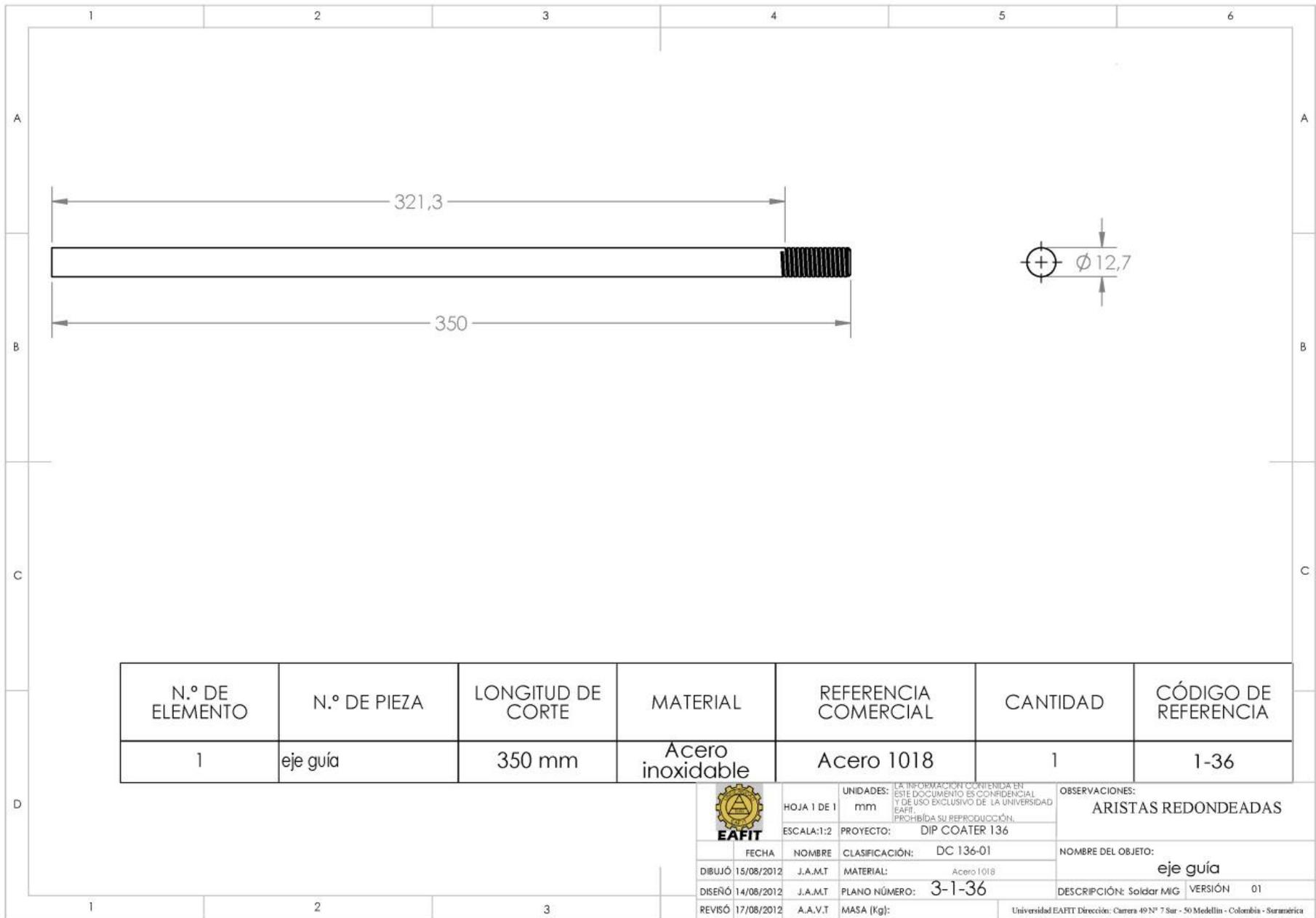
Universidad EAFIT Dirección: Carrera 49N° 7 Sur - 50 Medellín - Colombia - Suramérica





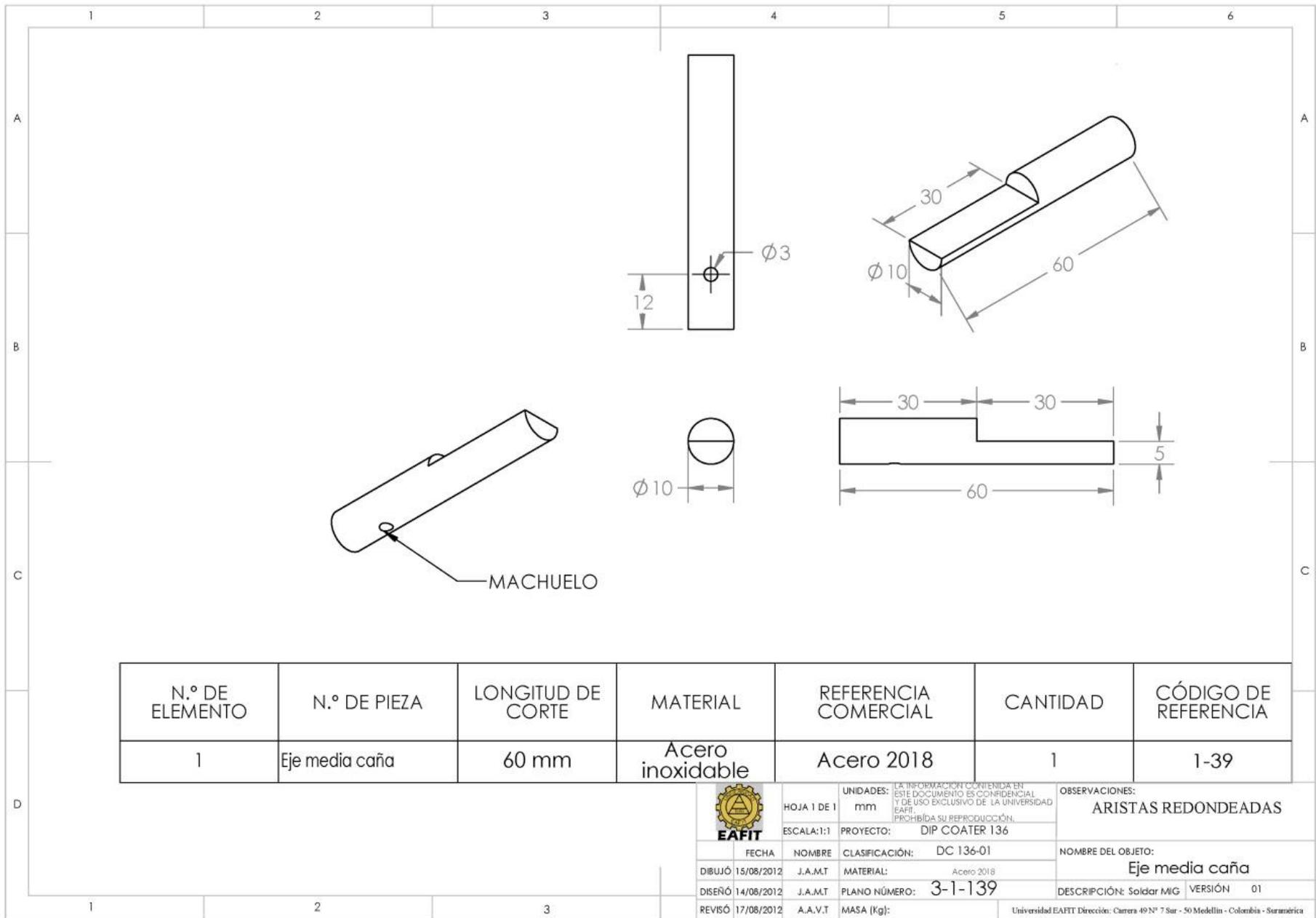
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	LONGITUD DE CORTE	MATERIAL	REFERENCIA COMERCIAL	CANTIDAD	CÓDIGO DE REFERENCIA
1	Sujetador 3 parte 1	N.A.	Nylon Autolubricado	PR-70211265	1	1-33

 EAFIT	UNIDADES:	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.		OBSERVACIONES:
	HOJA 2 DE 2	mm		
ESCALA:1:1	PROYECTO:	DIP COATER 136		NOMBRE DEL OBJETO:
FECHA	NOMBRE	CLASIFICACIÓN:	DC 136-01	Sujetador 1
DIBUJÓ 15/08/2012	J.A.M.T	MATERIAL:	PR-70211265	
DISEÑÓ 14/08/2012	J.A.M.T	PLANO NÚMERO:	3-1-33	DESCRIPCIÓN:
REVISÓ 17/08/2012	A.A.V.T	MASA (Kg):		VERSIÓN 01
				Universidad EAFIT Dirección: Carrera 49N° 7 Sur - 50 Medellín - Colombia - Suramérica



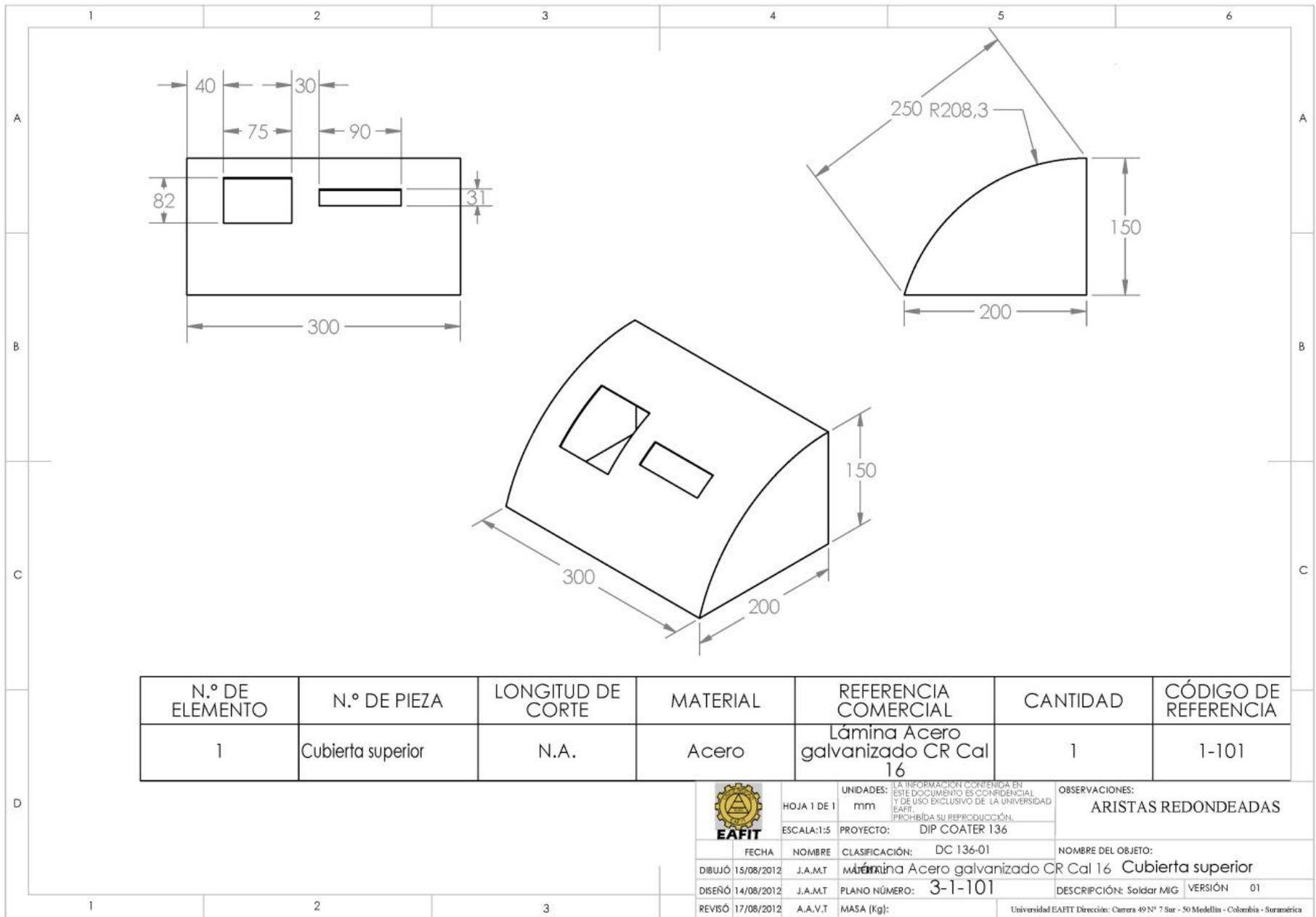
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	LONGITUD DE CORTE	MATERIAL	REFERENCIA COMERCIAL	CANTIDAD	CÓDIGO DE REFERENCIA
1	eje guía	350 mm	Acero inoxidable	Acero 1018	1	1-36

	UNIDADES:	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.		OBSERVACIONES: ARISTAS REDONDEADAS
	HOJA 1 DE 1	mm	PROYECTO: DIP COATER 136	
ESCALA: 1:2	FECHA	NOMBRE	CLASIFICACIÓN: DC 136-01	NOMBRE DEL OBJETO: eje guía
	DIBUJÓ 15/08/2012	J.A.M.T	MATERIAL: Acero 1018	DESCRIPCIÓN: Soldar MIG
	DISEÑÓ 14/08/2012	J.A.M.T	PLANO NÚMERO: 3-1-36	VERSIÓN 01
	REVISÓ 17/08/2012	A.A.V.T	MASA (Kg):	Universidad EAFIT Dirección: Carrera 49 N° 7 Sur - 50 Medellín - Colombia - Suramérica

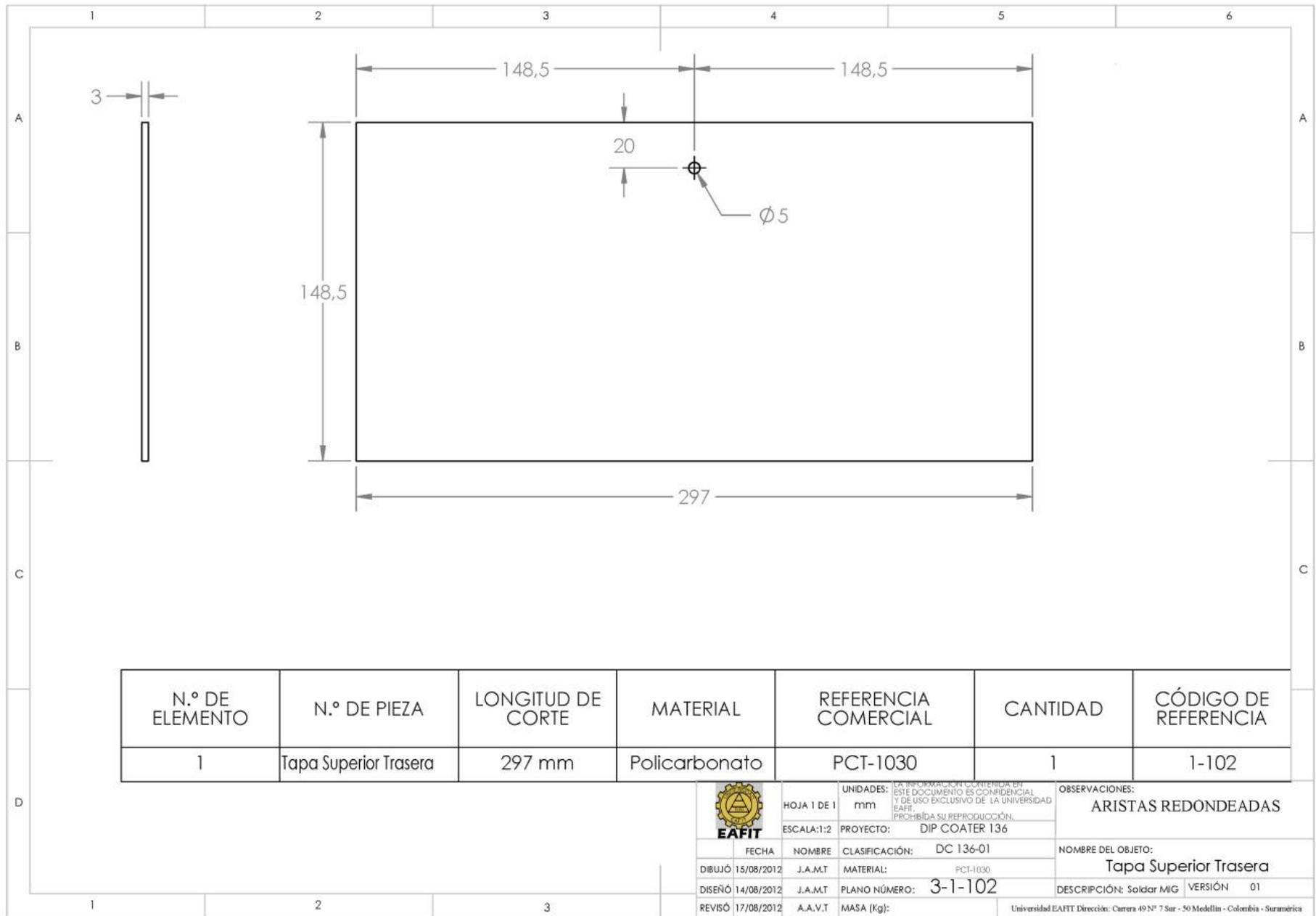


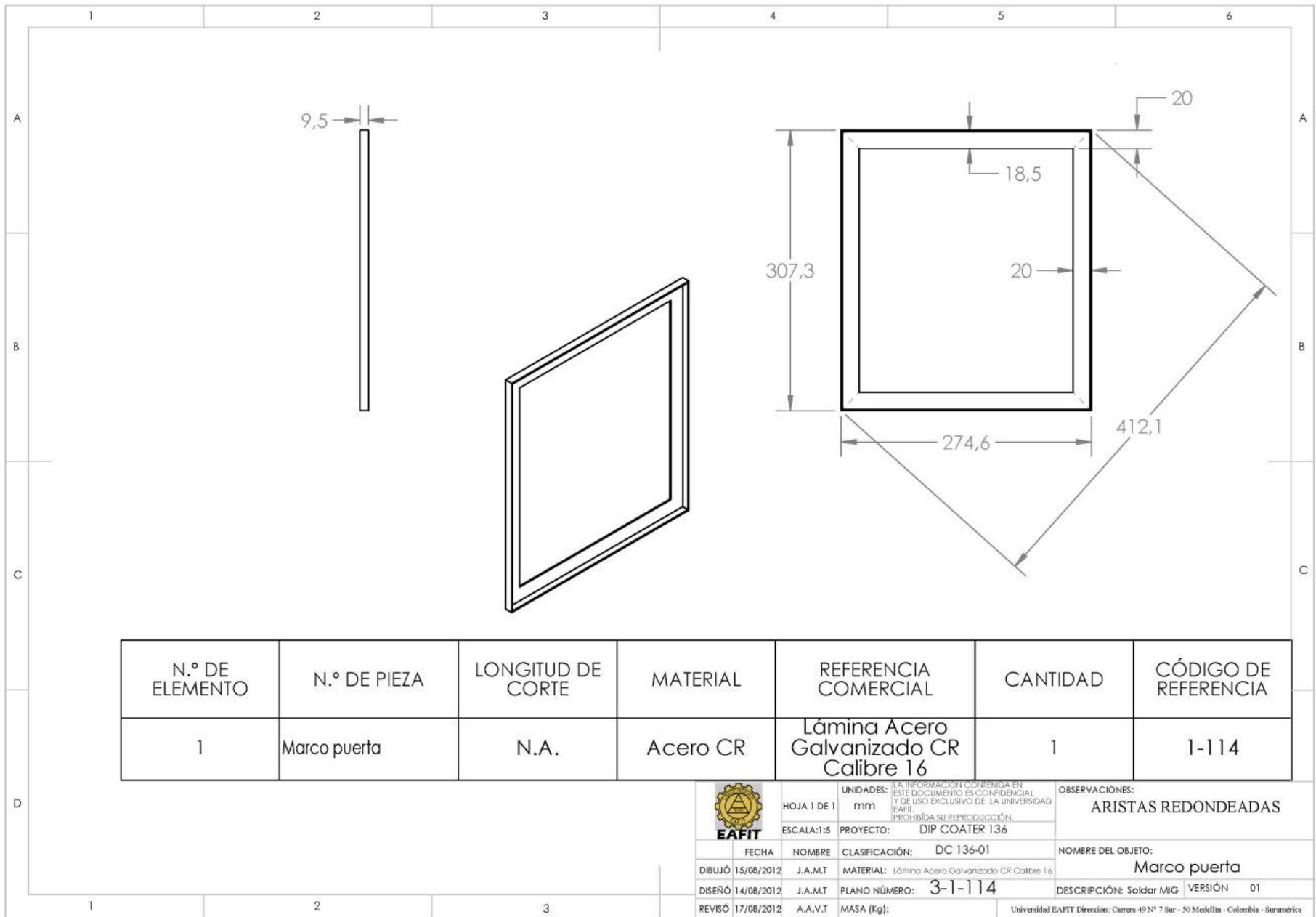
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	LONGITUD DE CORTE	MATERIAL	REFERENCIA COMERCIAL	CANTIDAD	CÓDIGO DE REFERENCIA
1	Eje media caña	60 mm	Acero inoxidable	Acero 2018	1	1-39

 EAFIT	UNIDADES:	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.		OBSERVACIONES: ARISTAS REDONDEADAS
	HOJA 1 DE 1	mm	PROYECTO: DIP COATER 136	
ESCALA: 1:1	FECHA:	NOMBRE:	CLASIFICACIÓN: DC 136-01	NOMBRE DEL OBJETO: Eje media caña
DIBUJÓ 15/08/2012	J.A.M.T	MATERIAL: Acero 2018	PLANO NÚMERO: 3-1-139	DESCRIPCIÓN: Soldar MIG
REVISÓ 17/08/2012	A.A.V.T	MASA (Kg):	VERSIÓN 01	Universidad EAFIT Dirección: Carrera 49N° 7 Sur - 50 Medellín - Colombia - Suramérica



UNIDADES: mm	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.	OBSERVACIONES: ARISTAS REDONDEADAS
HOJA 1 DE 1	PROYECTO: DIP COATER 136	NOMBRE DEL OBJETO: Lámina Acero galvanizado CR Cal 16 Cubierta superior
ESCALA: 1:5	CLASIFICACIÓN: DC 136-01	DESCRIPCIÓN: Soldar MIG
FECHA: 15/08/2012	NOMBRE: J.A.M.T	VERSIÓN: 01
DISEÑO: 14/08/2012	J.A.M.T	PLANO NÚMERO: 3-1-101
REVISÓ: 17/08/2012	A.A.V.T	UNIVERSIDAD EAFIT Dirección: Carrera 49 N° 7 Sur - 50 Medellín - Colombia - Suramérica

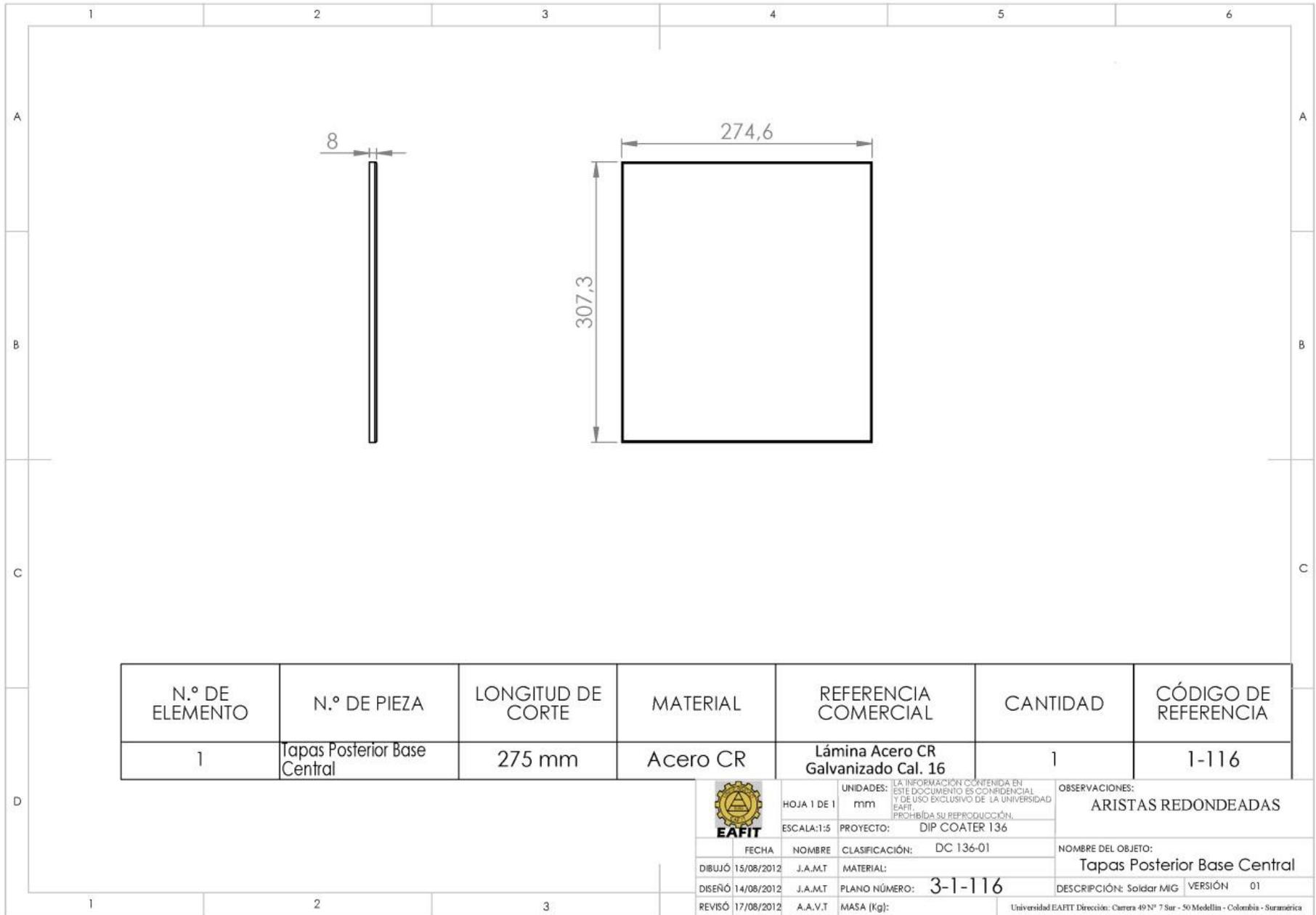


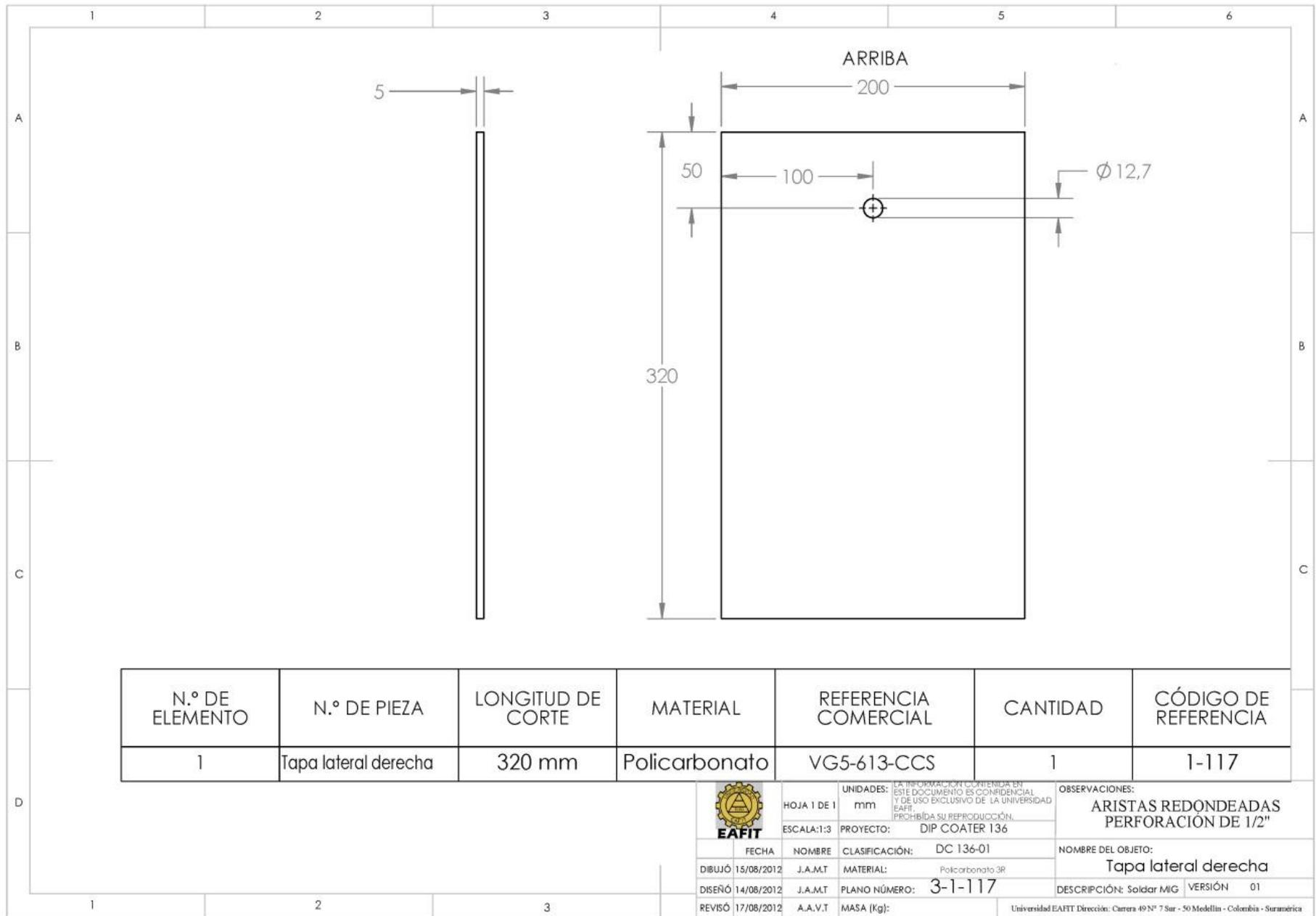


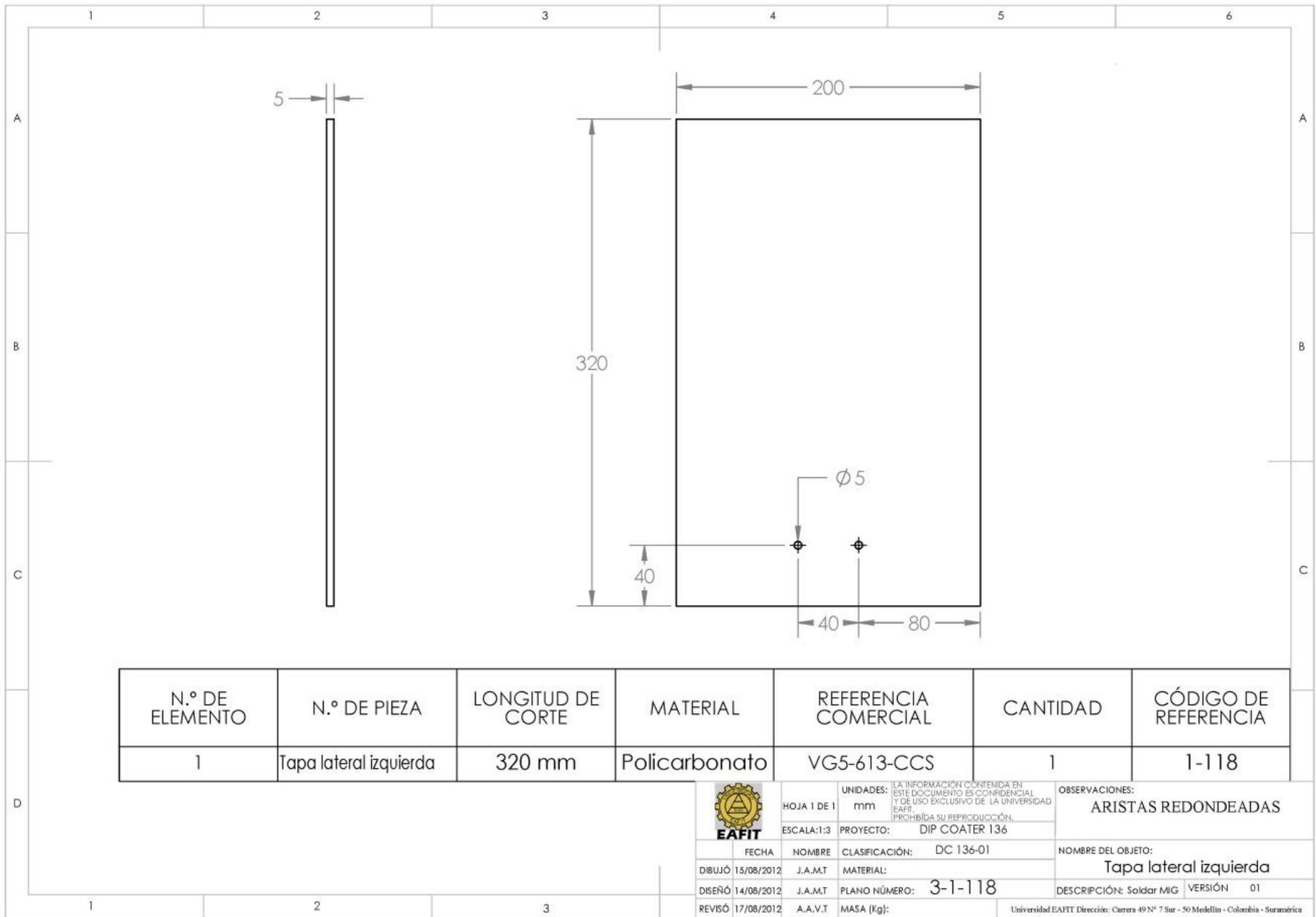
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	LONGITUD DE CORTE	MATERIAL	REFERENCIA COMERCIAL	CANTIDAD	CÓDIGO DE REFERENCIA
1	Marco puerta	N.A.	Acero CR	Lámina Acero Galvanizado CR Calibre 16	1	1-114

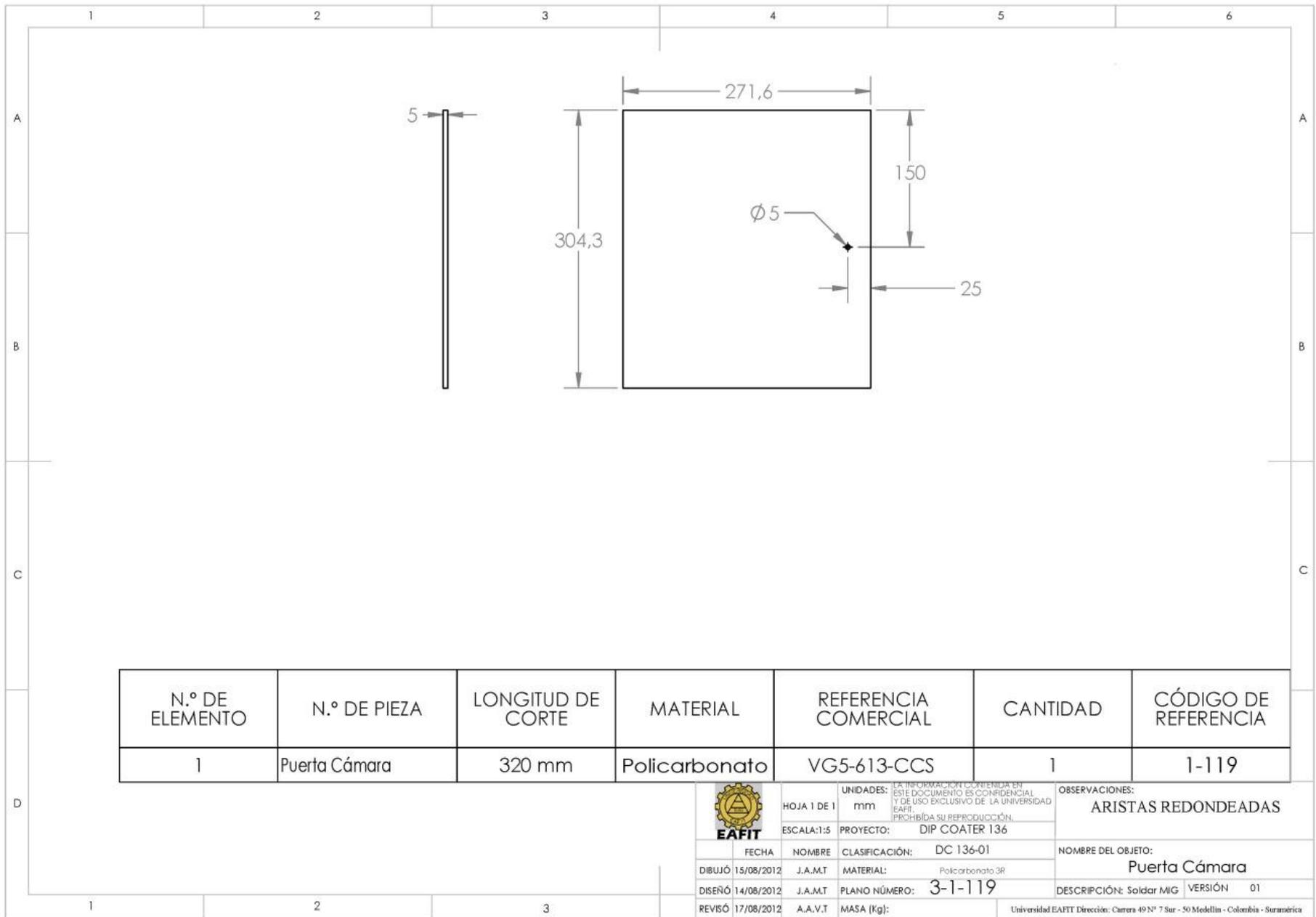


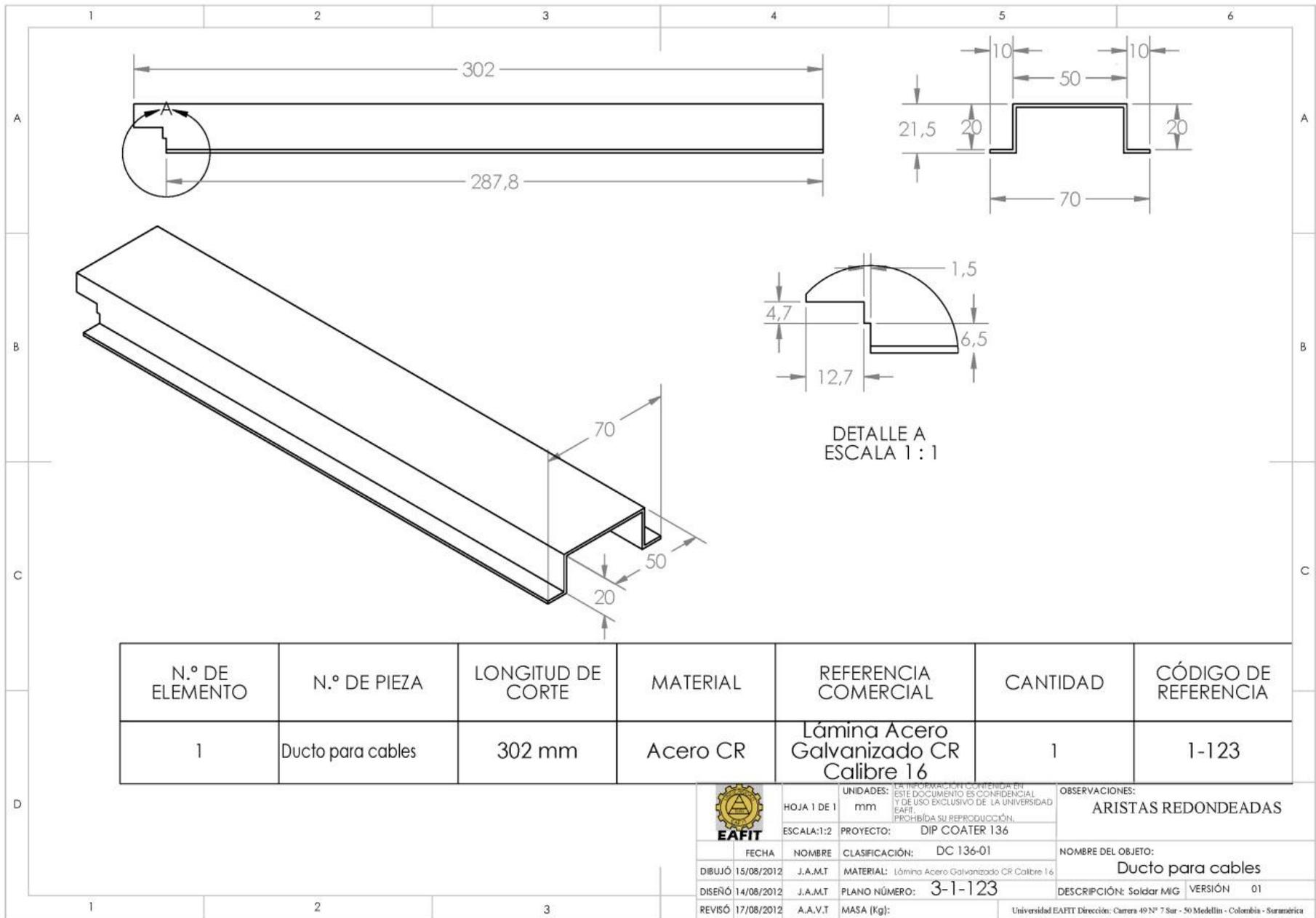
UNIDADES: mm	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.	OBSERVACIONES: ARISTAS REDONDEADAS
HOJA 1 DE 1	PROYECTO: DIP COATER 136	NOMBRE DEL OBJETO: Marco puerta
ESCALA: 1:5	CLASIFICACIÓN: DC 136-01	DESCRIPCIÓN: Soldar MIG
FECHA: 15/08/2012	NOMBRE: J.A.M.T	MATERIAL: Lámina Acero Galvanizado CR Calibre 16
REVISÓ: 17/08/2012	A.A.V.T	PLANO NÚMERO: 3-1-114
		VERSIÓN: 01
		UNIVERSIDAD EAFIT Dirección: Carrera 49N° 7 Sur - 50 Medellín - Colombia - Suramérica





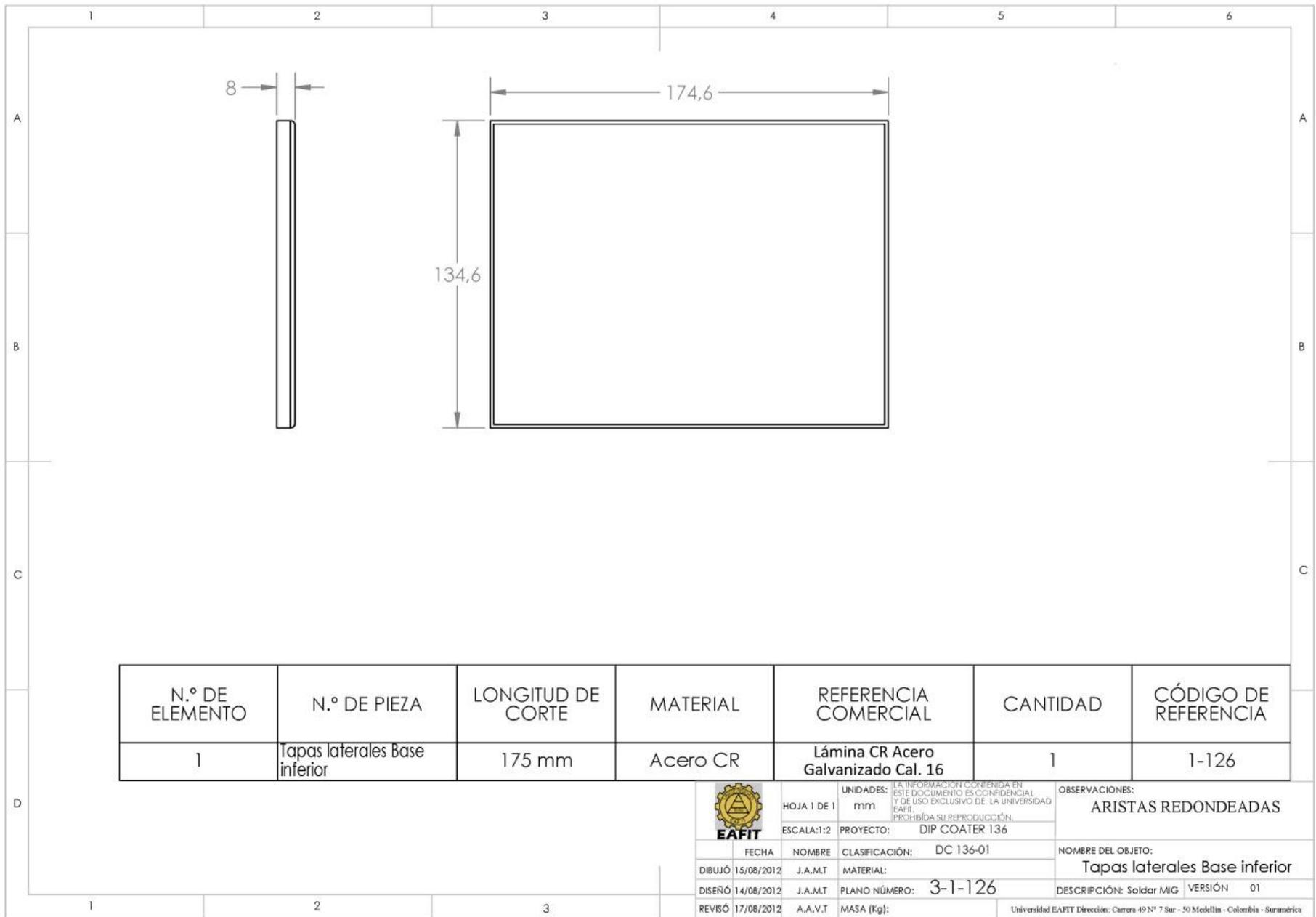






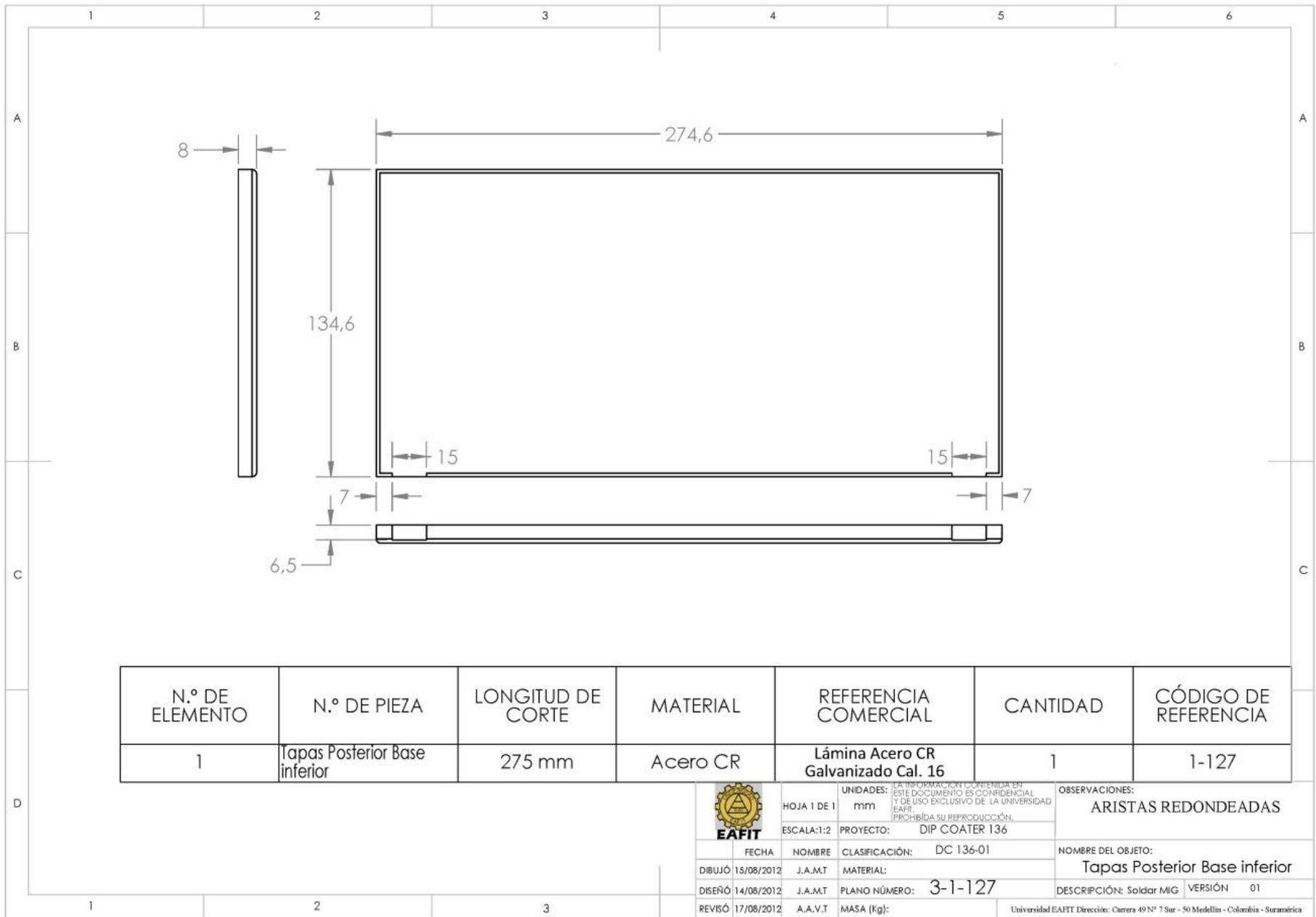
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	LONGITUD DE CORTE	MATERIAL	REFERENCIA COMERCIAL	CANTIDAD	CÓDIGO DE REFERENCIA
1	Ducto para cables	302 mm	Acero CR	Lámina Acero Galvanizado CR Calibre 16	1	1-123

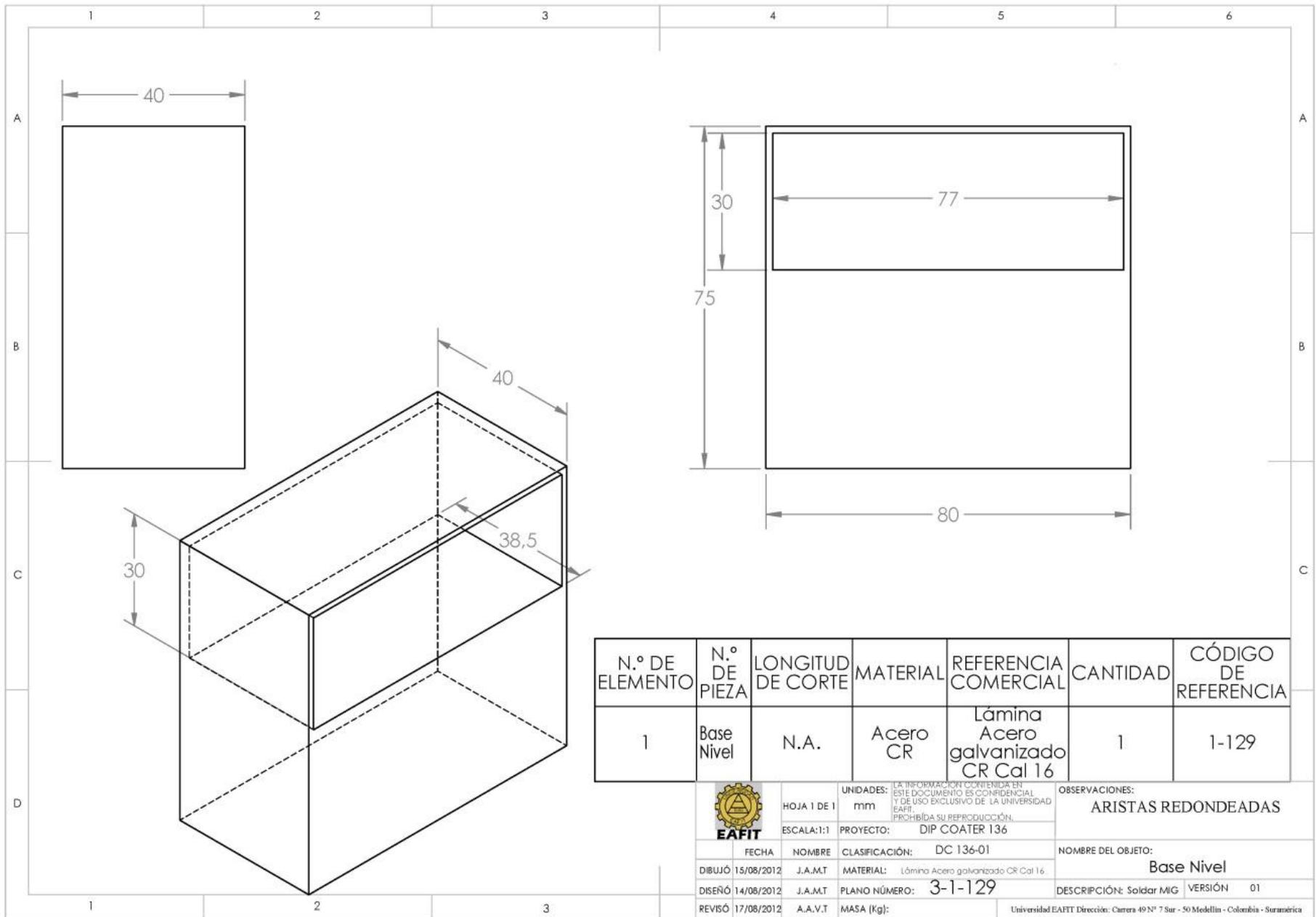
	UNIDADES: mm	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.	OBSERVACIONES: ARISTAS REDONDEADAS
	HOJA 1 DE 1	PROYECTO: DIP COATER 136	NOMBRE DEL OBJETO: Ducto para cables
FECHA: 15/08/2012	NOMBRE: J.A.MT	CLASIFICACIÓN: DC 136-01	NOMBRE DEL OBJETO: Ducto para cables
DISEÑO: 14/08/2012	J.A.MT	MATERIAL: Lámina Acero Galvanizado CR Calibre 16	DESCRIPCIÓN: Soldar MIG
REVISÓ: 17/08/2012	A.A.V.T	PLANO NÚMERO: 3-1-123	VERSIÓN: 01
MASA (Kg):		Universidad EAFIT Dirección: Carrera 49Nº 7 Sur - 50 Medellín - Colombia - Suramérica	



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	LONGITUD DE CORTE	MATERIAL	REFERENCIA COMERCIAL	CANTIDAD	CÓDIGO DE REFERENCIA
1	Tapas laterales Base inferior	175 mm	Acero CR	Lámina CR Acero Galvanizado Cal. 16	1	1-126

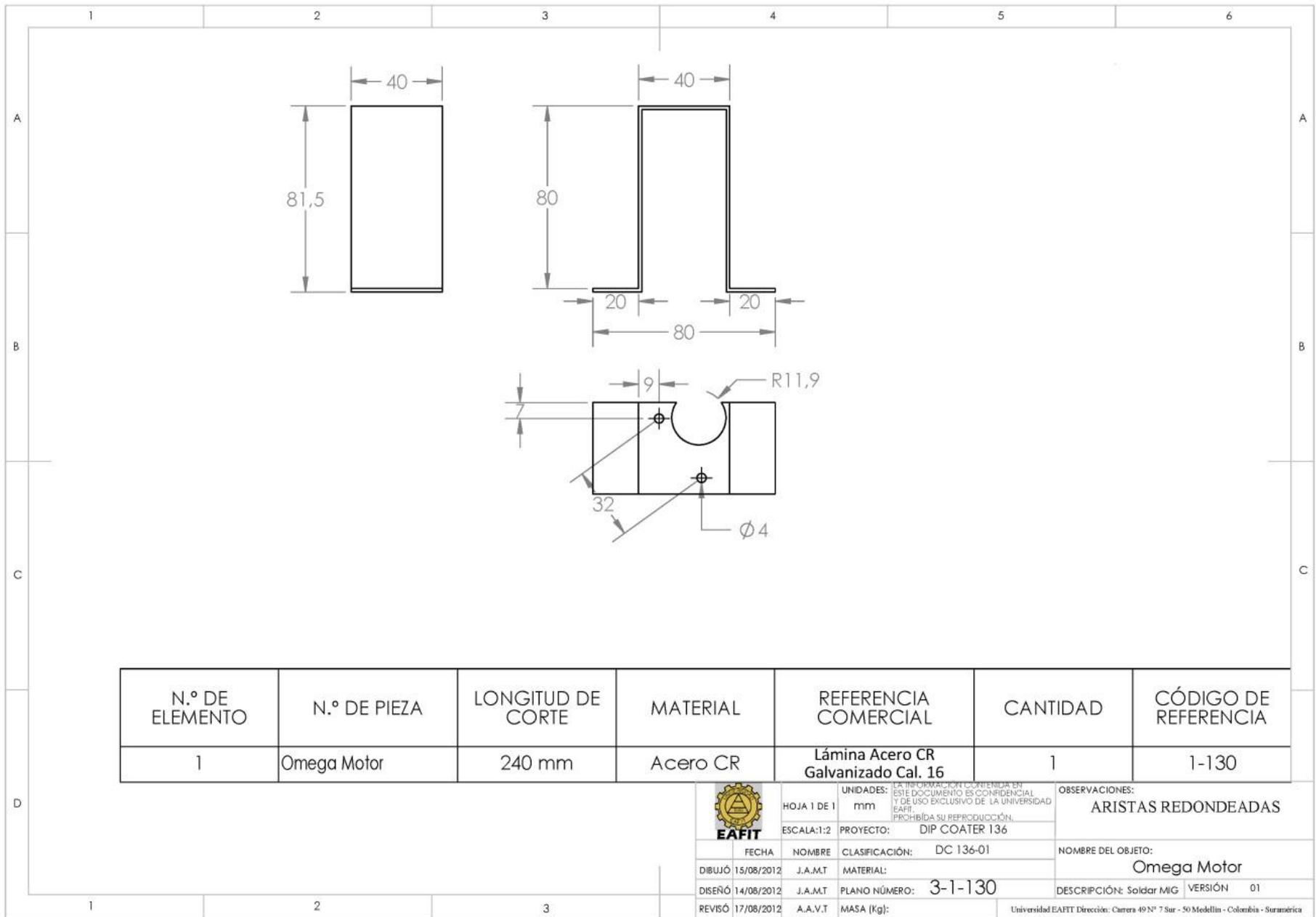
 EAFIT	UNIDADES:	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.		OBSERVACIONES: ARISTAS REDONDEADAS
	HOJA 1 DE 1	mm	PROYECTO: DIP COATER 136	
ESCALA:1:2	FECHA:	NOMBRE:	CLASIFICACIÓN: DC 136-01	NOMBRE DEL OBJETO: Tapas laterales Base inferior
DISEÑO 14/08/2012	15/08/2012	J.A.MT	MATERIAL:	DESCRIPCIÓN: Soldar MIG
REVISÓ 17/08/2012		A.A.V.T	PLANO NÚMERO: 3-1-126	VERSIÓN 01
			MASA (Kg):	Universidad EAFIT Dirección: Carrera 49 N° 7 Sur - 50 Medellín - Colombia - Suramérica





N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	LONGITUD DE CORTE	MATERIAL	REFERENCIA COMERCIAL	CANTIDAD	CÓDIGO DE REFERENCIA
1	Base Nivel	N.A.	Acero CR	Lámina Acero galvanizado CR Cal 16	1	1-129

 EAFIT	UNIDADES:	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.		OBSERVACIONES: ARISTAS REDONDEADAS
	HOJA 1 DE 1	mm	PROYECTO: DIP COATER 136	
ESCALA: 1:1	FECHA	NOMBRE	CLASIFICACIÓN: DC 136-01	NOMBRE DEL OBJETO: Base Nivel
DIBUJÓ 15/08/2012	J.A.M.T	MATERIAL: Lámina Acero galvanizado CR Cal 16	PLANO NÚMERO: 3-1-129	DESCRIPCIÓN: Soldar MIG
REVISÓ 17/08/2012	A.A.V.T	MASA (Kg):	VERSIÓN 01	UNIVERSIDAD EAFIT Dirección: Carrera 49 N° 7 Sur - 50 Medellín - Colombia - Suramérica

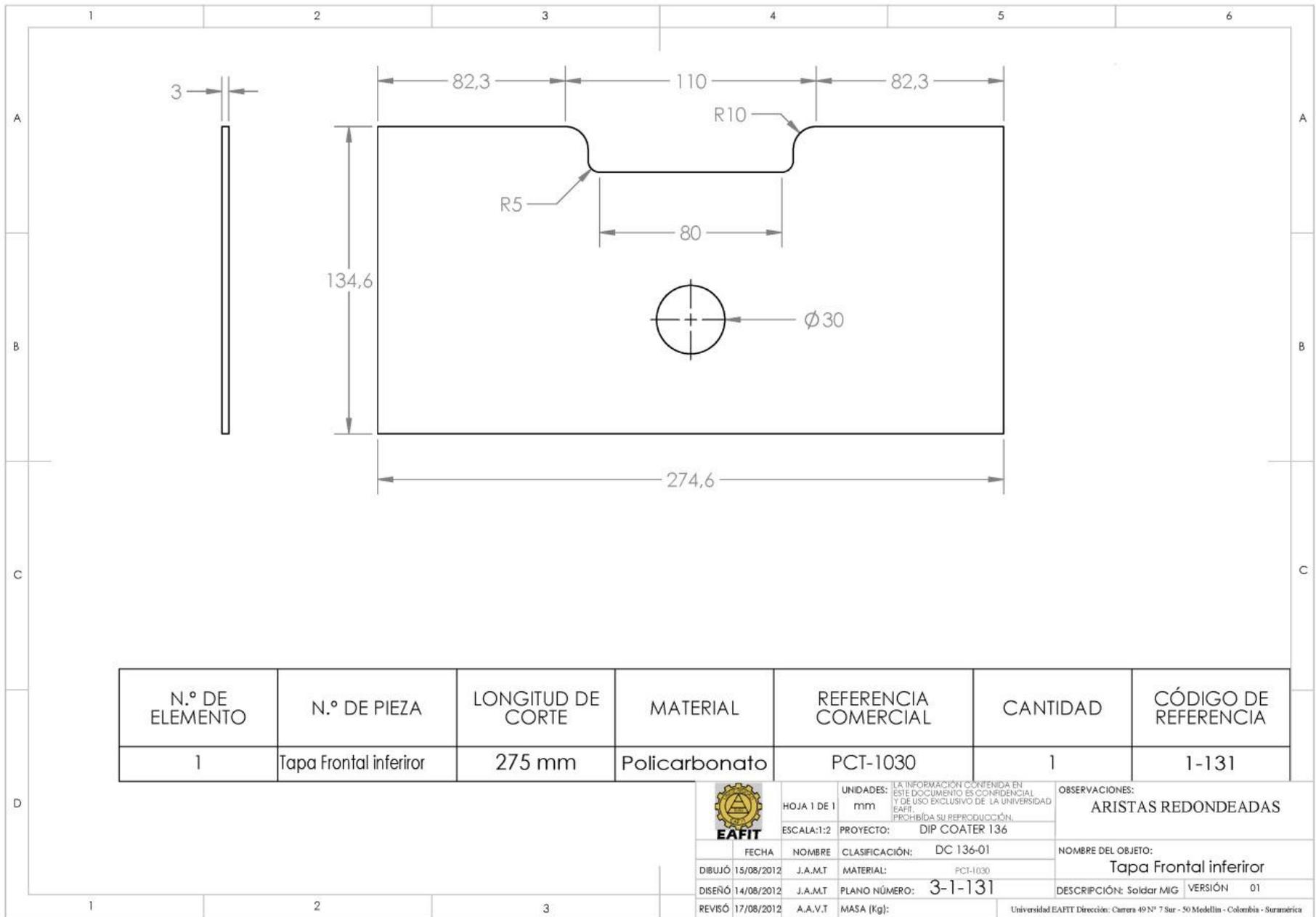


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	LONGITUD DE CORTE	MATERIAL	REFERENCIA COMERCIAL	CANTIDAD	CÓDIGO DE REFERENCIA
1	Omega Motor	240 mm	Acero CR	Lámina Acero CR Galvanizado Cal. 16	1	1-130



UNIDADES:	mm	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.
HOJA 1 DE 1		
ESCALA: 1:2	PROYECTO:	DIP COATER 136
FECHA:	NOMBRE:	CLASIFICACIÓN: DC 136-01
DIBUJÓ 15/08/2012	J.A.M.T	MATERIAL:
DISEÑÓ 14/08/2012	J.A.M.T	PLANO NÚMERO: 3-1-130
REVISÓ 17/08/2012	A.A.V.T	MASA (Kg):

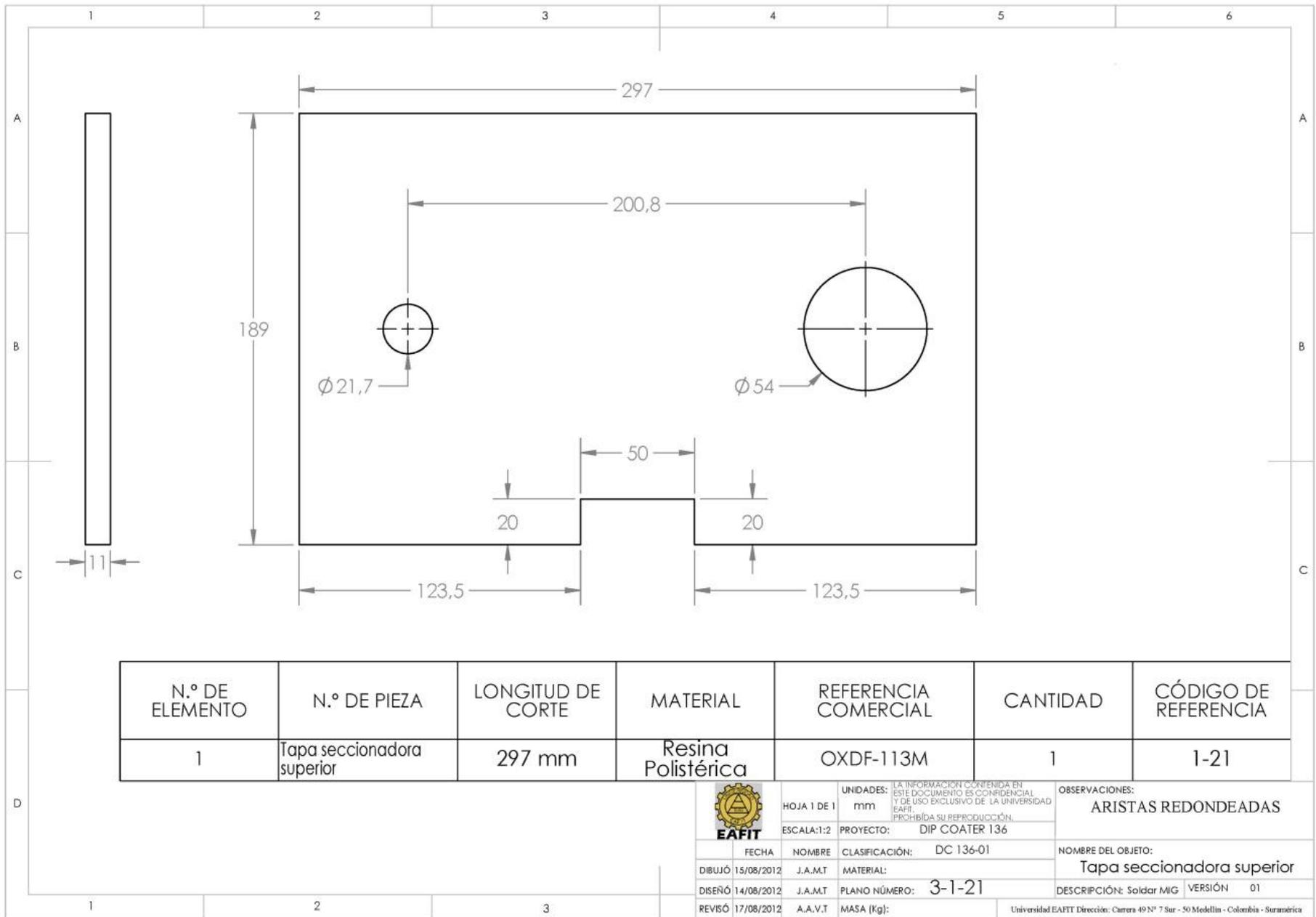
OBSERVACIONES:	ARISTAS REDONDEADAS
NOMBRE DEL OBJETO:	Omega Motor
DESCRIPCIÓN:	Soldar MIG
VERSIÓN:	01

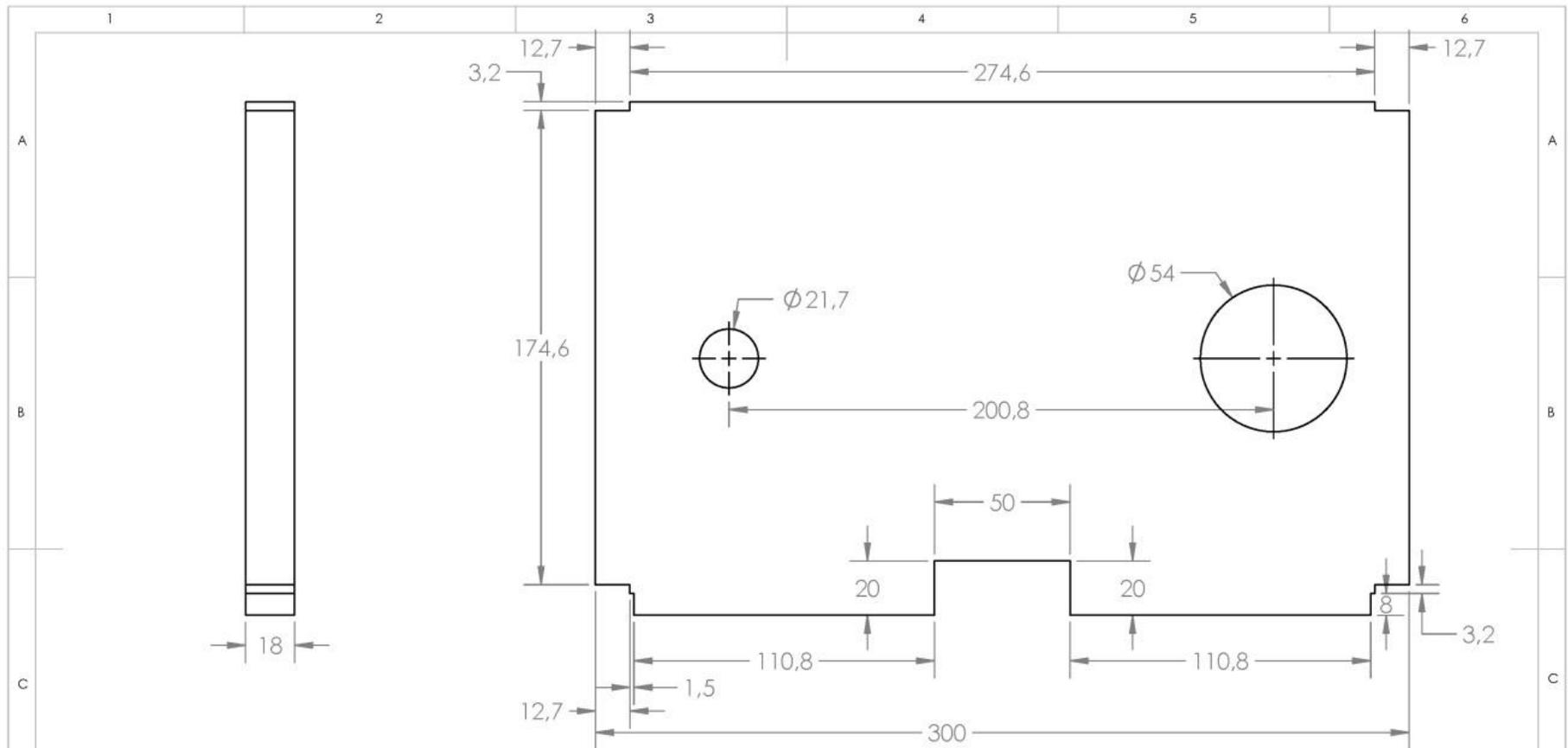


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	LONGITUD DE CORTE	MATERIAL	REFERENCIA COMERCIAL	CANTIDAD	CÓDIGO DE REFERENCIA
1	Tapa Frontal inferior	275 mm	Polycarbonato	PCT-1030	1	1-131



UNIDADES:	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.		OBSERVACIONES: ARISTAS REDONDEADAS
HOJA 1 DE 1	mm		
ESCALA:1:2	PROYECTO:	DIP COATER 136	NOMBRE DEL OBJETO: Tapa Frontal inferior
FECHA	NOMBRE	CLASIFICACIÓN:	DC 136-01
DIBUJÓ 15/08/2012	J.A.M.T	MATERIAL:	PCI-1030
DISEÑÓ 14/08/2012	J.A.M.T	PLANO NÚMERO:	3-1-131
REVISÓ 17/08/2012	A.A.V.T	MASA (Kg):	DESCRIPCIÓN: Soldar MIG VERSIÓN 01





N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	LONGITUD DE CORTE	MATERIAL	REFERENCIA COMERCIAL	CANTIDAD	CÓDIGO DE REFERENCIA
1	Tapa seccionadora inferior	300	Resina poimérica	OXDF-113M	1	1-22



UNIDADES: mm	LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.	OBSERVACIONES: ARISTAS REDONDEADAS
HOJA 1 DE 1	PROYECTO: DIP COATER 136	NOMBRE DEL OBJETO: Tapa seccionadora inferior
ESCALA: 1:2	CLASIFICACIÓN: DC 136-01	DESCRIPCIÓN: Soldar MIG
FECHA: 15/08/2012	NOMBRE: J.A.M.T	MATERIAL: OXDF-113M
FECHA: 14/08/2012	NOMBRE: J.A.M.T	PLANO NÚMERO: 3-1-22
FECHA: 17/08/2012	NOMBRE: A.A.V.T	PLANO NÚMERO: 3-1-22
REVISÓ	FECHA	UNIVERSIDAD EAFIT Dirección: Carrera 49N° 7 Sur - 50 Medellín - Colombia - Suramérica

